

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Optimalizace svařování manganových příložek

Optimization of Welding Manganese Liners

Student:

Bc. Zdeněk Šácha

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Drahomír Schwarz. CSc.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Zdeněk Šácha**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: **Optimalizace svařování manganových příložek**  
**Optimization of Welding Manganese Liners**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Popište funkci manganových příložek a možnosti renovace.
- 2) Proveďte hodnocení svařitelnosti heterogenního svarového spoje uhlíkové a manganové oceli
- 3) Zpracujte alternativní technologické postupy svařování manganových příložek.
- 4) Pro zvolené metody svařování navrhnete přídavné materiály.
- 5) Proveďte nedestruktivní a destruktivní ověření vlastností svarových spojů.
- 6) Popište dosažené výsledky a proveďte jejich diskuzi.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T. *Svařování I: Učební texty*. 1. vydání. VŠB-TU Ostrava. 2005. 133 s. ISBN 80-248-0870-6  
Kolekti autorů *Materiály a jejich chování při svařování: Učební texty*. 1. vydání. ČSÚ s.r.o. Ostrava. 2016. 404 s.  
HRIVŇÁK, I. *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*. 1. vydání. VSAV Bratislava. 1989. 344 s. ISBN 80-224-0016-5  
ČSN EN ISO 15614-1 *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupů svařování - Část. 1: Obloukové a plamenové svařování ocelé a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. Praha: Český normalizační institut, 2005

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.  
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

**Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 9.5.2017

  
.....  
podpis studenta

**Prohlašuji, že**

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě ..... 9.5.2017

.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Zdeněk Šácha

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Dukelských hrdinů 8, 690 02 Břeclav



## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ŠÁCHA, Z. *Optimalizace svařování manganových příložek: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2017, 102 s. Vedoucí práce: Schwarz, D

Diplomová práce se zabývá optimalizováním svaření manganové oceli s ocelí uhlíkovou. Je to typ heterogenního svarového spoje, který se vyskytuje při výrobě a opravách ŽKV. Konkrétně je zde řešen svarový spoj mezi příložkou (dílem) z manganové oceli a dílem na který se tato příložka přivařuje. V teoretické části je popsána funkce a možnosti renovace těchto dílů s navrhnutím alternativního postupu při renovacích. Pro renovace jsou dále zvoleny alternativní přídavné materiály a metody svařování. Navržené přídavné materiály a metody svařování jsou pak v experimentální části ověřeny v praxi metalografickým zkoušením a zkouškou tvrdosti HV10. Cílem diplomové práce je posouzení vhodnosti navržených přídavných materiálů.

## ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

ŠÁCHA, Z. *Optimization of Welding Manganese Liners: Diploma Thesis* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2017, 102 p. Thesis head: Schwarz, D

This Diploma Theses sis engaged in welding manganese steel with carbon steel a its optimization. This kind of heterogenous welded joint can be found in construction and maintenance of rail vehicles. There is particulary dealt with welded joint between manganese liner and holder it is welded with. In theoretical part is described function a possibilities of renovation of these parts, also there is proposed an alternative technique to repair this. For this alternatives are suggested various types of consumables a processes of welding. Suggested consumables are then checked by metallographic meanings and by hardness testing according HV10. Aim of this theses is to assess suggested materials and techniques.

## OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>8</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>1. POPIS FUNKCE MANGANOVÝCH PŘÍLOŽEK.....</b>	<b>11</b>
1.1 Funkce odpružených kluznic na podvozku .....	12
1.2 Možnosti renovace Mn příložek.....	14
1.3 Možnosti renovace příložek na odpružených kluznicích .....	15
1.4 Princip úpravy spodního dílu kluznice.....	17
1.5. Vlastní provedení úpravy kluznice.....	19
Zhodnocení.....	21
<b>2. SVAŘITELNOST SPOJE MANGANOVÁ OCEL - UHLÍKOVÁ OCEL.....</b>	<b>22</b>
2.1 Manganová ocel X120Mn12, značení podle ČSN 41 7618 .....	23
2.2 Uhlíková ocel na odlitky GS – 45, značení podle ČSN 42 2643 .....	23
2.3 Diskuze svařitelnosti .....	25
<b>3. PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY.....</b>	<b>26</b>
3.1 Popis přídatných materiálů [12] .....	27
<b>4. TECHNOLOGICKÝ POSTUP SVAŘOVÁNÍ - ALTERNATIVY .....</b>	<b>29</b>
Pracovní instrukce pro výměnu utržených manganových příložek spodního dílu odpružené kluznice PI 4.1 .....	31
Pracovní instrukce pro opravu prasklých svarů manganových příložek horního a spodního dílu odpružené kluznice PI 4.2 .....	32
<b>5. OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ PROVEDENÝCH SVAROVÝCH SPOJŮ.....</b>	<b>33</b>
Vzorek DP1 .....	35
Vzorek DP4 .....	39
Vzorek DP8 .....	42
Vzorek DP9 .....	45
Vzorek DP10 .....	48

Vzorek DP11 .....	51
Vzorek DP12 .....	54
Tepelně ovlivněné oblasti.....	57
<b>6. OVĚŘENÍ PROVOZNÍCH VZORKŮ .....</b>	<b>58</b>
<b>7. DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>61</b>
<b>8. ZÁVĚR.....</b>	<b>63</b>
<b>9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ .....</b>	<b>64</b>
<b>10. SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>66</b>
<b>11. SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>69</b>
<b>12. PŘÍLOHY .....</b>	<b>70</b>
Seznam příloh.....	71

**SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ**

A	tažnost	[%]
A <sub>e</sub>	hloubka úběru	[mm]
A <sub>p</sub>	tloušťka úběru	
a	jmenovitá velikost svarového spoje	[mm]
AWS	American Welding Society	
D	průměr nástroje	[mm]
DIN	Deutsches Institut für Normung, německá národní norma	
FW	koutový svar	
f <sub>z</sub>	posuv na zub	[mm]
HV10	tvrdost podle Vickerse	
HZ	hranice ztavení	
I	svařovací proud	[A]
k	koeficient tepelné účinnosti metody svařování	
l <sub>m</sub>	obráběná délka	[mm]
l	délka řezné části	[mm]
lux	jednotka intenzity osvětlení	
MK	mezioperační kontrola	
MK	Morse kužel	
n	otáčky	[ot/min <sup>-1</sup> ]
NDT – PT	nedestruktivní testování, kapilární metoda	
NDT – VT	nedestruktivní testování, vizuální metoda	
PB	poloha svařování, vodorovná šikmo shora	
PF	poloha svařování, svislá nahoru	
PI	pracovní instrukce	
PM	přídavný materiál	
pWPS	předběžná Specifikace Postupu Svařování (Welding Procedure Specification)	
R <sub>e</sub>	mez kluzu	[MPa]
R <sub>m</sub>	mez pevnosti	[MPa]
R <sub>p0,2</sub>	smluvní mez kluzu	[MPa]
TOO	tepelně ovlivněná oblast	
Q	vnesené teplo	[kJ·mm <sup>-1</sup> ]

UIC	Union Internationale des Chemins de fer Mezinárodní železniční unie	
U	svařovací napětí	[V]
v	rychlost svařování	[mm·s <sup>-1</sup> ]
v <sub>c</sub>	řezná rychlost	[m/min <sup>-1</sup> ]
v <sub>f</sub>	posuvová rychlost	[mm/min <sup>-1</sup> ]
Y25	označení typu podvozku nákladního vozu	
ZM	základní materiál	
ŽKV	železniční kolejové vozidlo	
111	svařování obalenou elektrodou	
135	obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu	
141	obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu	

## ÚVOD

Úkolem této diplomové práce je navázat na práci bakalářskou, která popisovala vlastnosti svarových spojů manganových třecích příložek na odpružených kluznicích podvozků železničních kolejových vozidel. Jde o svarové spojení dvou různých ocelových materiálů. V teoretické části je popsána funkce těchto dílů ŽKV a navrženy možnosti oprav manganových příložek na kluznicích. Protože jde o heterogenní svarový spoj je v další části navázáno na popis možností oprav spolu s hodnocením svařitelnosti těchto dvou nestejnorodých materiálů a jsou vypracovány alternativní technologické postupy pro svařování. Tyto postupy a v nich navržené přídavné materiály jsou pak v praktické části ověřeny vlastním svařením navrženým postupem a PM. Na těchto svarech je poté provedeno ověření vlastností nedestruktivními a destruktivními metodami. Vizuální kontrola, metalografické ověření svaru a zkouška tvrdosti HV10. Výsledky z těchto zkoušek jsou v závěru diskutovány a je učiněn závěr z experimentální části.

## 1. POPIS FUNKCE MANGANOVÝCH PŘÍLOŽEK.

Třecí příložky jsou díly ŽKV vyrobené z plechu z manganové oceli X120Mn12. Na uvažovaných funkčních dílech bývají připevněny svařem. Jsou to, mimo třecí příložky odpružené kluznice, tlumičí a třecí prvky ve vedení skříně ložiska v rámu podvozku:

- třecí příložky pístu tlumiče
- třecí příložky rozsochy
- třecí příložky ložiskové skříně
- třecí příložky talíře pružiny

Všechny díly uvedené v předešlém výčtu jsou odlitky z uhlíkové oceli na odlitky se složením podle ČSN 42 2643 nebo podle DIN 1681 ocel GS-45. Vzniká tak heterogenní svarový spoj mezi ocelí manganovou a ocelí uhlíkovou. Svar manganové příložky na odpružené kluznici bude brán jako reprezentant této kombinace materiálů pro svoji jednoduchost manipulace s dílem a jeho přípravy pro další zkoušení a také pro častější případy oprav v porovnání s ostatními díly kde je tento heterogenní svarový spoj proveden.

U výše popsanych dílů se správná funkce těchto prvků neobejde bez tření mezi sebou. Avšak při prostém tření ocel na oceli by došlo k rychlému opotřebení, proto je zde využito nejdůležitější vlastnosti manganové oceli a to odolávat opotřebení třením a zpevňovat při zatížení. Je zakázáno tyto třecí plochy mazat z důvodu ztráty schopnosti tlumení třením a také by se vytvořila brusná pasta, která může způsobit větší opotřebení těchto dílů

Tření je využito také mezi skříní a odpruženou kluznicí (jejím vrchním dílem), a také mezi oběma díly kluznice. V prvním případě je využito plastové desky. Při tření mezi spodním a horním dílem kluznice je využito již zmíněných vlastností manganové oceli.



Obrázek 1 - Různé typy používaných Mn příložek

## 1.1 Funkce odpružených kluznic na podvozku

Nákladní železniční vozy jsou postaveny tak, aby mohli převést co největší možný náklad při co největší možné konstrukční rychlosti na přímé i zakřivené koleji a jsou vybaveny podvozky různých typů. Právě zvyšování této únosnosti vozu bylo umožněno použitím různých typů podvozků a takto se dodrží hmotnost vozu připadající na jedno dvojkolí. Podvozek je součástí železničního vozidla, u něhož dochází k interakci mezi vozidlem (vlastní skříní) a kolejnicí. Účelem tohoto podvozku je snadný проезд zatáčkou, nesení váhy vozu, nákladu a přenášení podélných sil (trakce a brzdění) a boční síly, když vozidlo jede po kolejích. Síly způsobené nerovností kolejového svršku, kmity a otřesy jsou přenášeny přes podvozek do skříně vozidla.

Skříň je usazená na podvozku prostřednictvím kulové torny a dvou odpružených kluznic. Torna přenáší svislé zatížení a jejím prostřednictvím je přenesena i tažná síla od hnacího vozidla na podvozek. Stabilita a vzájemný pohyb skříně a podvozku je docílena použitím dvou odpružených kluznic umístěných po stranách podvozku. Tyto odpružené kluznice fungují jako tlumicí prvek, který je trvale zatížený částí hmotnosti vozu a částečně tak odlehčuje uložení skříně, pomáhá zajišťovat stabilitu a vzájemný pohyb skříně a podvozku. Třením odpružených kluznic o opěrku na hlavním příčnicku spodku skříně vozu vzniká třecí moment, který způsobuje odpor proti natáčení podvozku a působí také jako tlumič pohybů skříně vůči podvozku, a tak stabilizuje chod podvozku při jízdě vyššími rychlostmi po koleji [1].

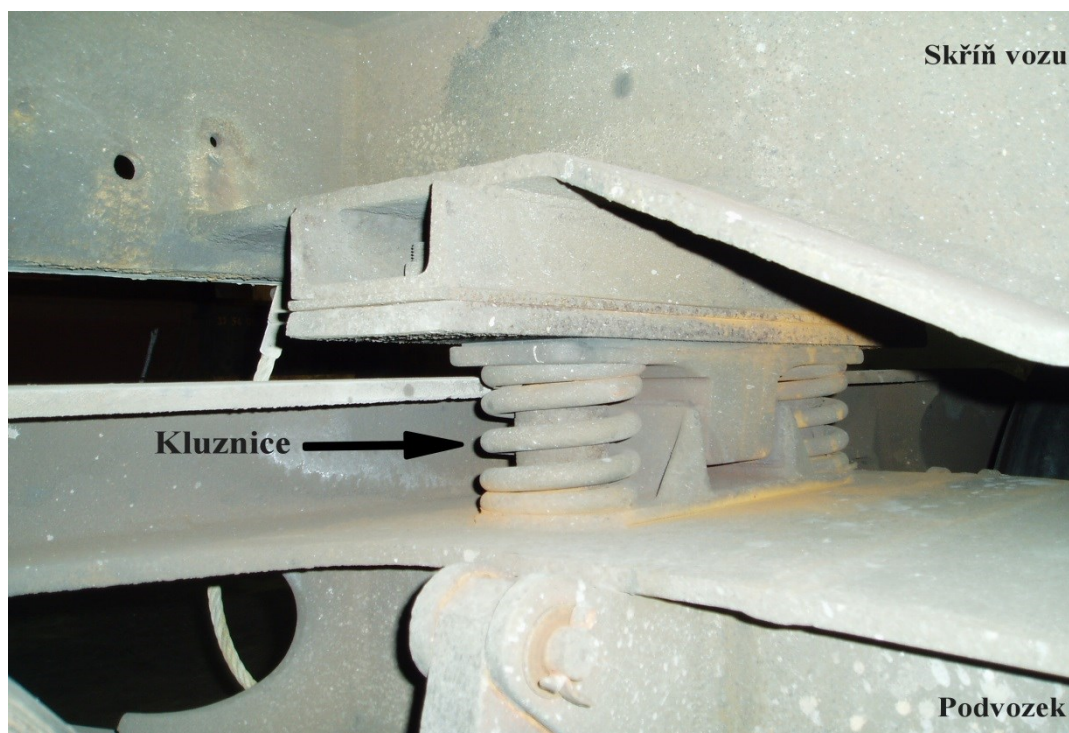


*Obrázek 2 - Podvozek typ Y25 kde jsou použity zmiňované kluznice[2]*



Na obrázku č. 2 je nejpoužívanější typ podvozku Y25, tento podvozek má různé modifikace pro různá zatížení na nápravu a konstrukci brzdy. To, co mají všechny tyto modifikace společné, jsou odpružené kluznice. Jejich anglický název je „side bearer“ toto v doslovném překladu znamená postranní nosič, což více popisuje jejich funkci na podvozku.

Na obrázku č. 3 je pohled na kluznici v podvozku a pod zatížením.



*Obrázek 3 - Pohled na kluznici v podvozku a v zatíženém stavu.*

Účinek kluznic na jízdu je zvláště významný pro prázdné vozidlo, zde se předpokládá, že polovina váhy skříně je nesena vypruženými kluznicemi. To znamená, že v tomto případě, je třecí síla na kluznicích velmi důležitý činitel při tlumení točivého momentu na podvozku. V loženém stavu je mnohem vyšší podíl zátěže na středovém čepu, takže kluznice přispívají menším podílem k omezování natáčení skříně [3].

## 1.2 Možnosti renovace Mn příložek

Způsoby oprav manganových příložek jsou dány tím, jak je příložka na díle připevněna. Jelikož je připevněna svarem tak renovace dílu spočívá v opravě tohoto spojení. Zjištěné trhliny ve svaru (obr. 4) třecí příložky je třeba před opravou vybrousit a provést svar ručním obloukovým svařováním.



*Obrázek 4 - Prasklý svar Mn příložky na ložiskové komoře.*

Při odpadlých nebo rozlámaných třecích příložkách (obr. 5) se musí upravit dosedací plochy tak aby byla odstraněny zbytky svarového kovu a zbytky příložek. Nově přivařované příložky musí těsně dolehnout na plochu dílu, jinak může hrozit usmyknutí koutového svaru.



*Obrázek 5 - Poškození Mn příložek, utržená příložka a prasklina ve svaru.*

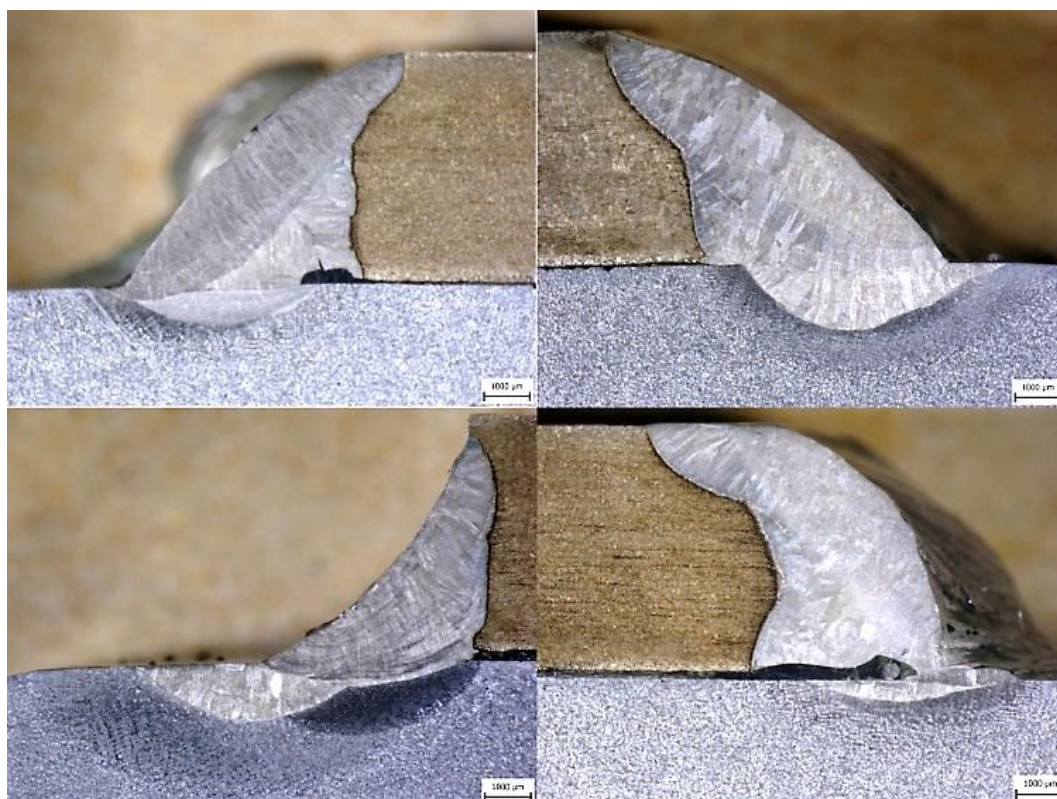
Po opravě se musí případný rozstřík na třecích plochách příložek odstranit.



Pro díly podvozku, ložisková skříň a rozsocha, na kterých je příložka přivařena přichází v úvahu jen oprava svaru dvěma výše zmíněnými způsoby. Pro opravu je nelze demontovat a upravit dosedací plochy vhodnějším způsobem než obroušením, například frézováním a přivařením silnější příložky pro dodržení konstrukčního rozměru, tak jako bude navrženo v případě odpružených kluznic.

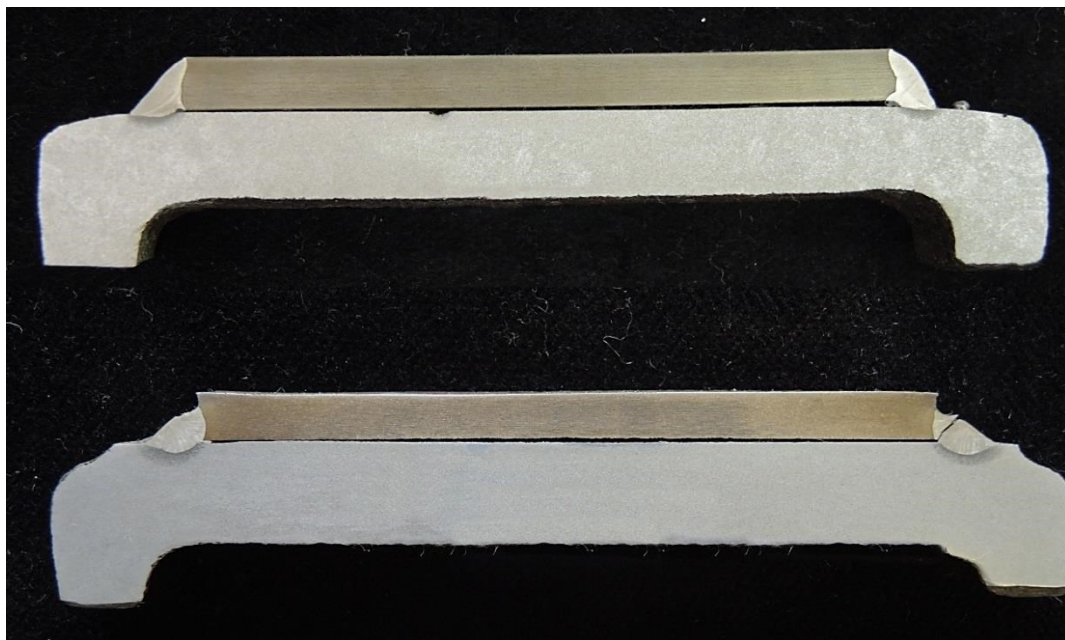
### 1.3 Možnosti renovace příložek na odpružených kluznicích

Možnosti renovací příložek na odpružených kluznicích jsou mnohem širší a to díky tomu že tento díl je snadno přístupný a lze z podvozku demontovat. Při menším poškození svaru na příložce se poškozené místo vybrousí a opraví. Při usmýknuté příložce se však obroušení jeví jako nedostatečné. Na obrázku číslo 6 jsou pro ilustraci patrné zbytky neodbroušeného svaru. Při metalografické kontrole byla hloubka původního neodstraněného svaru až 1,5 mm.



*Obrázek 6 - Svary příložek po opravě, jsou patrné původní svary.*

Dalším problémem je dodržení rovinnosti po odbroušení zbytků svaru a korozních produktů na ploše kluznice. Třecí příložka by měla těsně dolehnout na těleso kluznice. Svar tak bude míň namáhán a nebude hrozit jeho utržení (obr. 7).



*Obrázek 7 - Obrázek ilustruje nedolehnutí příložky a prasklinu ve svaru.*

Nejlepší kvality přípravy povrchu lze dosáhnout v daném případě odfrézováním plochy na, kterou dosedá příložka. Dosáhne se tímto způsobem kovově čistého povrchu bez

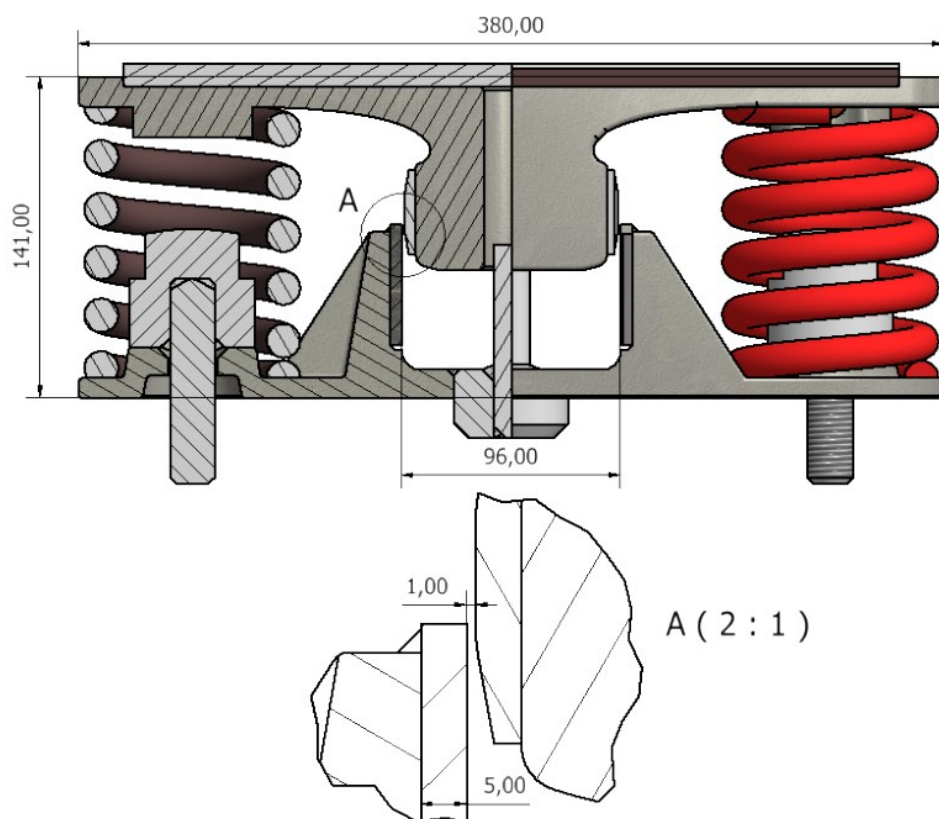
- nerovností
- korozních zbytků
- původního svaru



*Obrázek 8 - Kluznice po provedené úpravě frézováním.*

## 1.4 Princip úpravy spodního dílu kluznice.

Spodní díl, který jediný bývá poškozen výše popsány způsoby lze pro jeho další použití renovovat odfrézováním povrchové vrstvy do hloubky 2 mm a poté přivařením manganové příložky o tloušťce 7 mm místo původních 5 mm. Popisovaná úprava je vidět na obrázcích číslo 9 a 10.

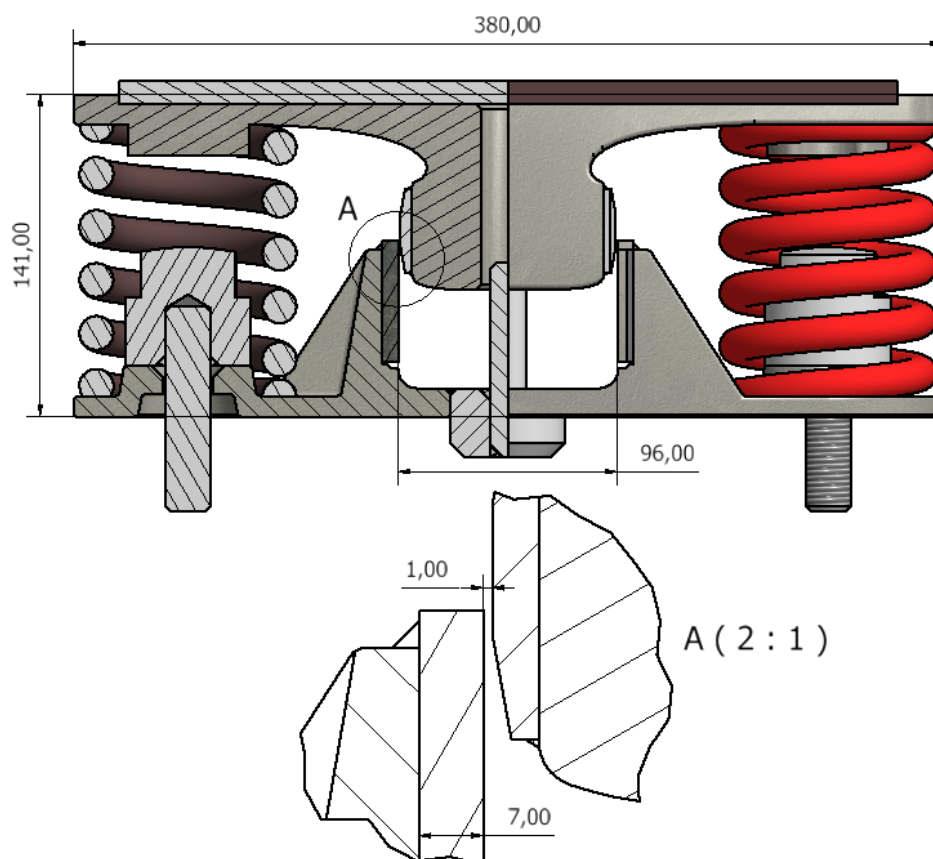


Obrázek 9 - Stávající způsob s příložkou tloušťky 5 mm.

Na obrázku č. 9 je situace, s příložkou o tloušťce 5 mm. Po opracování dosedací plochy lze na kluznici přivařit příložku o tloušťce 7 mm. Na předepsaných vřích se nic nezmění a renovovaný díl lze takto dále uvést do provozu. Vřile mezi příložkami horního a spodního dílu, předepsané ve výkresové dokumentaci jsou 1 mm na každé straně. Na obrázku je kluznice bez zatížení



Obrázek číslo 10 je s příložkou o tloušťce 7 mm. Požadovaná vůle pro správnou funkci kluznice, je po této úpravě dodržena. Díl může dál plnit svoji funkci a jeho životnost se tak prodlouží o další předepsaný interval kontroly. Při opravě se dále provede, v případě nutnosti, výměna dvou válcových dorazů, jejichž nadměrné opotřebení také přispívá k poškození příložek dolní kluznice.



*Obrázek 10 - Navrhovaný způsob renovace s příložkou tloušťky 7 mm.*

Toto poškození je způsobeno dosednutím horního dílu místo na dorazy, dosednutím na příložku. Na dalším obrázku č. 11 je pro ilustraci foto jedné, tímto způsobem, poškozené příložky.



*Obrázek 11 - Poškození horních svarů.*

### 1.5. Vlastní provedení úpravy kluznice

K renovaci dílu frézováním, v tomto případě jde o čelní frézování, lze použít válcovou frézu nástrčnou nebo stopkovou. Záleží na typu stroje, na kterém se bude renovace plochy provádět. Pro stroj jenž je k dispozici v dílně kde se navržená úprava provedla, byla vybrána fréza stopková válcová čelní krátká, kuželová stopka Morse, polohrubozubá, typ N, kód 420940, průměr 40 mm. z rychlořezné oceli.



Obrázek 12 – Fréza pro úpravu kluznice [4]

Parametry zvoleného nástroje:

D	40 mm
l	63 mm
L	188 mm
MK	4
Z	6

Řezné podmínky

$f_z$	0,11 mm
$v_c$	30 m/min
$A_p$	52 mm
$A_e$	2 mm
$l_m$	100 mm
n	239 ot/min
$v_f$	158 mm/min

Doba obrábění (strojní čas)  $T_c$ .  $T_c = \frac{l_m}{v_f} = \frac{100}{158} = 0,63 \text{ min} = 38 \text{ sec}$  na jeden chod frézy. Upravovanou plochu je potřeba obrobít na dvakrát z důvodu doporučeného záběru  $a_p = 1 \times D$ .  $T_c = 1,3 \text{ min}$

Před vlastním frézováním je vhodné pro zvýšení životnosti frézy obrousit zbytek svaru.



*Obrázek 13 - Kluznice po frézování.*

V tabulce č. 1 jsou podklady pro zhodnocení renovace.

*Tabulka 1 - Časy operací při renovaci.*

Operace	Množství [ks]	Čas na jednotku	Čas celkový
Kontrola stavu na podvozku a rozhodnutí o opravě	4	30 sec	120 sec
Demontáž	4	10 min	40 min
Čištění a broušení	4	15 min	60 min
Frézování čistý čas	8	1,3 min	11 min
Frézování ustavení, kontrola	8	5 min	40 min
Svařování – čistý čas	8	~ 50 sec	~ 8 min
Svařování ustavení, kontrola	8	2 min	16 min
Součet		23 min	177 min ~ (3 hod)



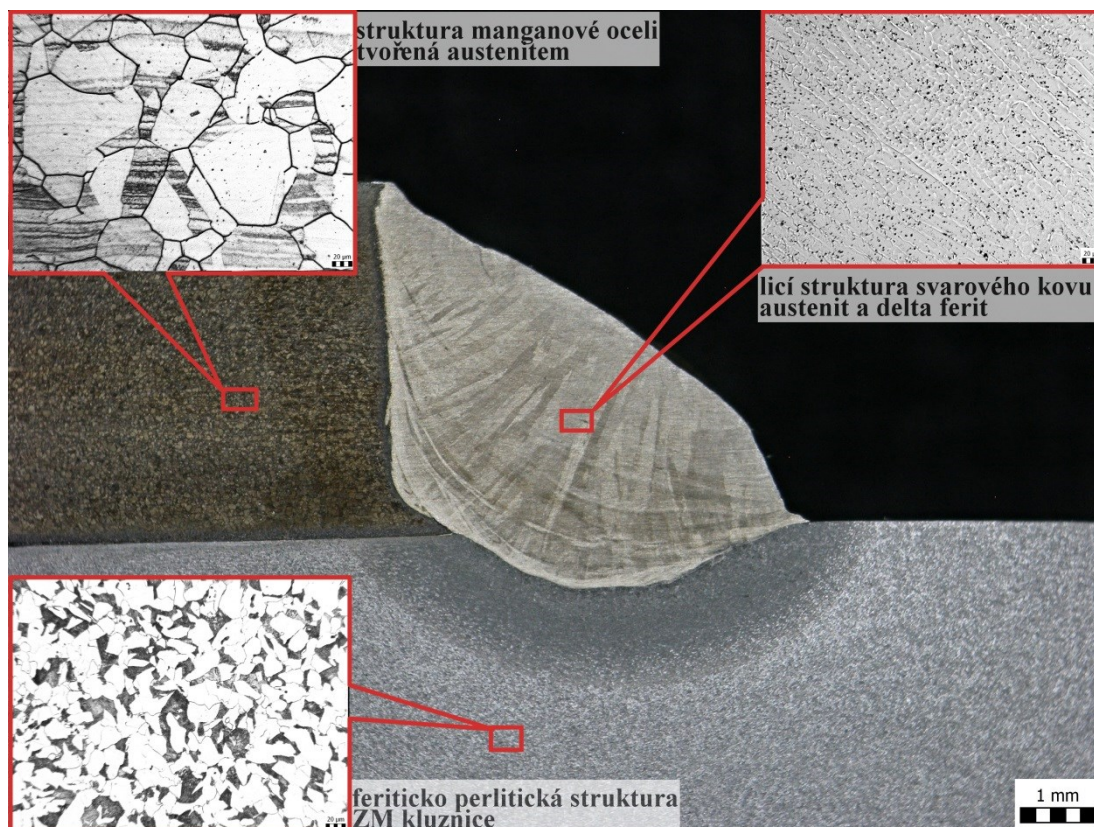
## Zhodnocení

Renovace bude účelná a ekonomicky zdůvodnitelná pouze tehdy, pokud se parametry opravované součásti vrátí na úroveň odpovídající technické dokumentaci a dojde ke snížení nákladů na opravu. V tomto případě lze uvažovat o hromadné/soustředěné renovaci s ohledem na pracovní, materiálové a časové nároky.

- pracovní nároky
  - obsazenost a využití obráběcích strojů jen podle aktuální potřeby, jinak pracovník vykonává ostatní opravárenské práce
- materiálové nároky
  - renovovat podle budoucí potřeby a vytvořit zásobu vyzískaných dílů k renovaci, poté renovované díly cyklicky dosazovat a zaměňovat za díly k renovaci
- časové nároky
  - využitím soustředěné opravy se efektivně využije pracovní doba jak obráběče, tak i svářeče

## 2. SVAŘITELNOST SPOJE MANGANOVÁ OCEL - UHLÍKOVÁ OCEL

Svařením manganové oceli s ocelí uhlíkovou vznikne heterogenní svarový spoj kdy svarový kov a základní materiál mají rozdílné mechanické vlastnosti a rozdílné fáze (obr. 14). Zde je to austenitická struktura manganové oceli – feritická struktura uhlíkové oceli – austenit a delta ferit ve svarovém kovu.



Obrázek 14 – Mikrostruktury materiálů a svarového kovu.

Manganová ocel je svařitelná s oceli uhlíkovými nebo nízkolegovanými, tento spoj však vyžaduje austenitické přídavné materiály, jejich použitím se dosáhne houževnatého svarového kovu, jehož strukturní fází je austenit. Dosažení této strukturní fáze ve svarovém kovu je dosaženo použitím vysokého obsahu hlavního legujícího prvku nebo kombinace legujících prvků. Toto legování zajistí, takové konečné promísení svařovaných materiálů aby se vytvořila struktura austenitická. Není žádoucí, aby se tvořila struktura náchylná k zakalení, což by mohlo vést k nízké houževnatosti, v horším případě k trhlinám [5].

## 2.1 Manganová ocel X120Mn12, značení podle ČSN 41 7618

Mezi nejznámější vlastnosti austenitické manganové oceli patří její schopnost deformačního zpevnění a odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Typické chemické složení a mechanické vlastnosti dodávaného materiálu přílozek je v tabulce č. 2. Obsah uhlíku se volí podle požadované odolnosti proti opotřebení, mangan zachovává požadovanou austenitickou strukturu i při pokojové teplotě. Obsahy síry a fosforu bývají omezeny z důvodu jejich nežádoucích účinků. U výrobků válcovaných se obsahy chromu a křemíku udržují na hodnotách uvedených v tabulce č. 2. [6].

Při svařování typu manganová ocel - manganová ocel nebo manganová ocel - uhlíková ocel je svařitelná za dodržení několika podmínek. Nejdůležitější z nich je nízký vnesený tepelný příkon do svaru. Důvodem je teplo vnesené do svaru a náchylnost manganové oceli křehnout účinkem tohoto tepla. Proces zkřehnutí lze popsat tak že, vlivem vneseného tepla do svaru by teplota základního materiálu v TOO mohla dosáhnout žíhací teploty, toto může vést k precipitaci karbidů po hranicích zrn (ocel má poměrně vysoký obsah uhlíku -1,1 až 1,4) a zkřehnutí svarového spoje. Dalším omezením je nízká tepelná vodivost a velká délková roztažnost manganové oceli v porovnání s ocelí na odlitky [7]. Koeficient délkové roztažnosti  $\alpha$  [ $K^{-1}$ ] se uvádí  $20 \cdot 10^{-6}$  zatímco ocel na odlitky GS - 45 má tento koeficient kolem  $11 \cdot 10^{-6}$ . Při svařování zkušebních vzorků byly svařovací parametry nastaveny tak aby nedošlo přílišnému vnesení tepla do manganové příločky.

Je doporučeno podle ČSN EN 1011-3 použít nízký tepelný příkon. Průměrná hodnota tohoto příkonu  $Q$  byla  $0,57 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$ . Průměrná teplota na příložce měřená po ukončení svařování byla  $145^\circ\text{C}$ .

## 2.2 Uhlíková ocel na odlitky GS – 45, značení podle ČSN 42 2643

Feriticko - perlitická uhlíková ocel. Je svařitelná bez předehřevu do 25 mm tloušťky. Vhodná na odlitky středně namáhaných strojních součástí, pracujících při teplotách do  $450^\circ\text{C}$  a při vyšších tlacích, například na armatury, součásti parních kotlů, tlakových nádob a turbín, na odlitky parních a vodovodních potrubí. Na díly válcovacích stolic a lisů, na součásti elektrických strojů apod. [8]. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou opět uvedeny v tabulce č. 2. Obsah uhlíku je 0,17 - 0,25 % se a blíží požadovaným 0,25 % na zaručenou svařitelnost tak aby se ještě mohlo svařovat bez předehřevu a nevznikaly zakalené struktury v TOO [9].

V následující tabulce je porovnáno chemické složení a mechanické vlastnosti spojovaných materiálů a pro daný svar uvažovaných přídatných materiálů.

*Tabulka 2 - Chemické složení a mechanické vlastnosti spojovaných materiálů a přídatných materiálů. (\*doporučení podle UIC) [11,12]*

	SVAŘOVANÉ MATERIÁLY		PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY		
	X120Mn12	GS - 45	OK 68.81	OK 67.45	AUTROD/TIGROD 16.95
<b>C %</b>	1,14	0,22	0,12	0,11	< 0,2
<b>Si %</b>	0,37	0,55	0,7	0,5	< 1,2
<b>Mn %</b>	12,3	0,31	<b>0,8</b>	<b>6,0</b>	<b>6,5</b>
<b>P %</b>	0,031	0,03	-	-	-
<b>S %</b>	0,012	0,03	-	-	-
<b>Cr %</b>	0,17	0,02	<b>29,0</b>	<b>18,5</b>	<b>18,5</b>
<b>Ni %</b>	-	-	<b>9,5</b>	<b>8,5</b>	<b>8,5</b>
<b>R<sub>e</sub>/ R<sub>p0,2</sub> MPa</b>	390	240	610	470	640
<b>R<sub>m</sub> MPa</b>	1130	440 - 590	790	605	650
<b>A %</b>	55	22	22	35	41
<b>tvrdost</b>	< 260 315 < 390*	125 - 170	~220 - 240HV	~ 190HV	-

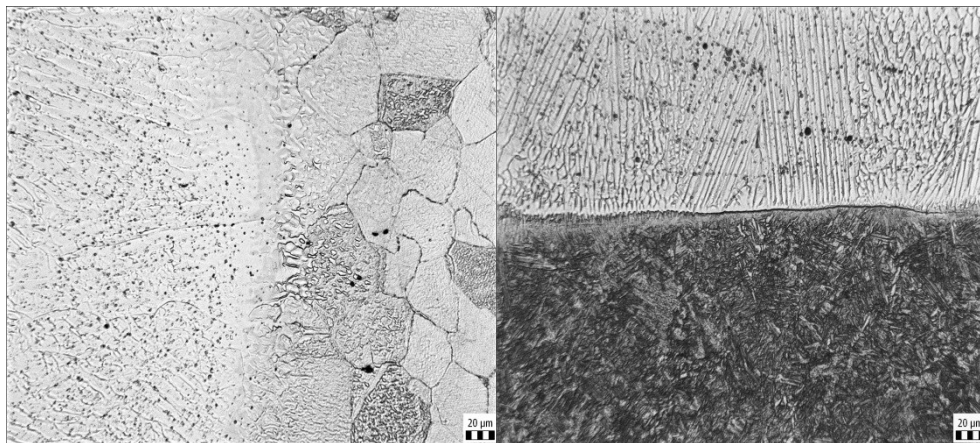
## 2.3 Diskuze svařitelnosti

Svařitelnost dvou materiálů je jejich schopnost vytvořit spoj pomocí tepla, tlaku nebo jejich kombinace a přídavného materiálu nebo bez něj tak aby toto spojení splnilo požadavky na něj kladené. Při navrhování součástí nebo ocelových konstrukcí, je důležité vybrat třídu oceli, která má dobrou svařitelnost a současně splňuje mechanické požadavky návrhu. Když jsou mechanické vlastnosti legovaných ocelí prvořadým hlediskem, svařitelnost se stává obtížnější. Pro správnou funkci kluznic a jejich přijatelnou životnost byla vybrána kombinace dvou nesterjnorodých materiálů, které se liší jak v mechanických tak i fyzikálních vlastnostech [10].

Oba výše popsané druhy ocelí jsou vzájemně svařitelné. Dochází však časem k praskání svarového kovu. Jednou z příčin tohoto praskání může být rozdílná hodnota tepelné roztažnosti manganové a uhlíkové oceli. Úroveň zbytkového napětí v průběhu svařování i po svařování v kombinaci s případnými vadami svarového spoje mohou daný problém ještě umocnit.

- kvůli rozdílným koeficientům tepelné roztažnosti svařovat s podmínkou na nízké vnesené teplo
- použít PM vhodný pro tento typ svaru
  - PM s plastičtějšími vlastnostmi
- nejvhodněji metodou 111 a malým průměrem PM (2 - 2,5 mm)

Popsané podmínky budou aplikovány při experimentální části práce.



Obrázek 15 – Hranice ztavení mezi SK a oběma ZM

### 3. PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY

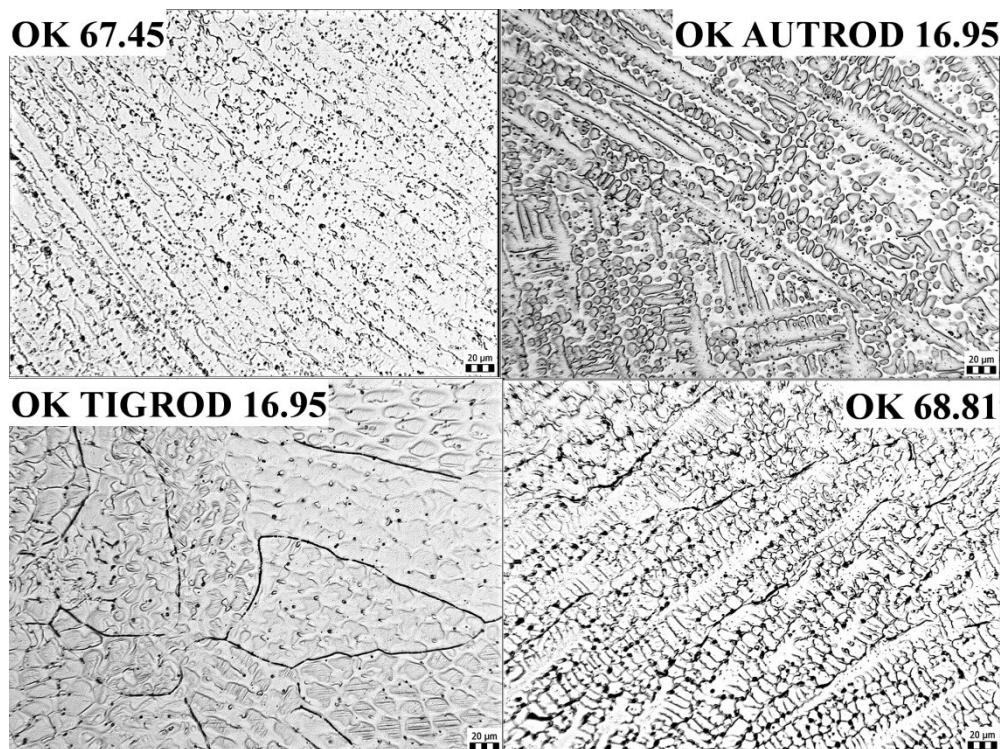
Pro svarový kov je důležitá jeho pevnost a houževnatost. Pro zachování homogenity a vlastností se přídatné materiály pro svařování volí tak, aby mechanické hodnoty výsledného svarového kovu měli přibližně stejné hodnoty jako u svařované oceli. [7].

V současnosti, se ke svařování manganových příložek používá přídatný materiál typu Cr - Ni kde jsou obsahy hlavních legujících prvků, 29 % chromu a 9 % niklu. Zástupce tohoto typu je v tabulce č. 2 PM OK 68.81. Zde legující prvky dají korozně odolný a také proti koroznímu praskání odolný svarový kov. Nikl jako austenitotvorný prvek vyrovná účinky chromu, který je naopak karbidotvorný.

V praktické části budou provedeny svary přídatným materiálem o složení Cr-Ni-Mn zde jsou to PM OK 67.45 pro metodu svařování 111 a svařovací dráty OK AUTROD/TIGROD 19.95 pro metody 135 a 141. Tato kombinace legujících prvků má poskytovat nejlepší odolnost proti vzniku trhlin a houževnatost. Mangan společně s niklem dávají svarovému kovu odolnost a plasticitu, chrom poskytuje odolnost proti koroznímu praskání. Tato slitina je také odolnější proti vzniku horkých trhlin [4].

- PM používaný OK 68.81\_AWS E 312 – 17
- PM alternativní OK 67.45\_AWS E 307 – 15
- PM alternativní
  - pro metodu 135 OK AUTROD 16.95\_AWS ER 307 W 18 – 8 Mn
  - pro metodu 141 OK TIGROD 16.95\_AWS ER 307 G 18 – 8 Mn

Porovnání chemického složení a mechanických vlastností PM je v tabulce č. 2. Porovnáním dle tabulky lze zjistit, že navržené alternativní přídatné materiály jsou v podstatě stejné slitiny typu Cr – Ni – Mn.



*Obrázek 16 - Mikrostruktury svarových kovů, lící struktura tvořená austenitem a delta feritem, složení a množství delta feritu se liší podle chemického složení použitého přídavného materiálu, zvětšeno 200X*

### 3.1 Popis přídavných materiálů [12]

#### **Pro metodu 111 PM OK 68.81**

Elektroda pro svařování vysokopevnostních nízkolegovaných i nelegovaných ocelí, pro opravy zušlechtěných a některých nástrojových ocelí i pro svařování austenitických ocelí s ocelemi nelegovanými. Svarový kov je odolný proti koroznímu praskání.

#### **Pro metodu 111 PM OK 67.45**

Elektroda poskytující svarový kov s nejvyšší odolností proti praskavosti, vhodná pro svařování obtížně svařitelných materiálů (13% Mn oceli, kalitelné oceli).

#### **Pro metodu 135/141 AUTROD/TIGROD 16.95**

Dráty pro svařování austenitických nerezavějících ocelí s vysokým obsahem manganu, pro spoje ocelí obtížně svařitelných. Drát je určen hlavně pro svařování ocelí typu 18-8 s uhlíkovými a nízkolegovanými ocelemi. Svarový kov je austenitický také při promísení se základním materiálem.

Všechny PM dávají austenitický svarový kov a jsou podle výrobce určeny ke svařování ocelí vysokolegovaných manganem a ke svařování austenitických ocelí s ocelemi nelegovanými. Pro svařování ocelí obtížně svařitelných. Přídavné materiály stejného nebo podobného složení a pro stejné aplikace jsou v portfolio i ostatních výrobců přídavných materiálů.



#### 4. TECHNOLOGICKÝ POSTUP SVAŘOVÁNÍ - ALTERNATIVY

Kvůli limitování přivedeného tepla při svařování manganových příložek se jeví jako nejvhodnější technologie svařování, svařování elektrickým obloukem. Pro tyto technologie bude dále zpracován technologický postup svařování a bude ověřena jejich použitelnost a vhodnost v praktické části diplomové práce.

Svářecí zdroje pro tyto obloukové metody jsou již na pracovišti k dispozici a nemusí se pořizovat další zdroj. V železničním opravárenství jsou to, mimo svařování plamenem, nejpoužívanější metody. Každá má svoji přednost a nejvhodnější použitelnost pro různý opravárenský proces.

Na pracovišti jsou dostupné následující metody svařování:

- 111
  - jednoduché použití; operativnost nasazení při montážních pracích a při opravách
- 135
  - využití této metody spíše při opravách dlouhodobějšího charakteru nebo při výrobě
- 141
  - v současnosti nachází použití hlavně pro opravy vozů se skříní z hliníkového plechu, možné využití pro renovaci kluznic bude ověřeno v experimentální části

Zpracován bude pouze technologický postup pro výměnu utržené manganové příložky na spodním díle a to pro dva způsoby renovace.

- renovace prostým obroušením svaru do roviny
- renovace odfrézováním dosedací plochy pro příložku

pro oba způsoby budou výchozí podmínky stejné, díl bude demontován a jeho polohování do vhodné polohy pro svařování tak bude vždy umožněno.

*Tabulka 3 – Přehled parametrů svaru a poloh svařování*

<b>Metoda</b>	<b>Typ svaru</b>	<b>Tloušťka ZM</b>	<b>Poloha svařování</b>	<b>Velikost svaru</b>
111	FW	5 / 10	PB	přeplátovaný a3,5
135	FW	5 / 10	PB	přeplátovaný a3,5
141	FW	5 / 10	PB	přeplátovaný a3,5

## **Pracovní instrukce pro výměnu utržených manganových příložek spodního dílu odpružené kluznice PI 4.1**

1. Zpřístupnit místo opravy, horní díl kluznice odebrat a provést kontrolu spodního dílu na poškození. Výměna příložky se provede, jestliže opotřebení příložky je větší, než je přípustná tolerance, je-li prasklá, upadlá anebo ohnutá. Tolerance mezi příložkou horního dílu a spodního dílu max. 3 mm při revizní opravě vozu. V případě že je příložka upadlá nebo má prasklý svar na více než 50 % délky svarové housenky tuto vždy vyměnit za nový kus.
2. Spodní díl kluznice z podvozku demontovat.
3. Obrousit dosedací plochy od původních svarů. Kontrolovat rovinnost při broušení. Čistit okolí budoucího svaru v šířce 20 mm na čistý kov. V případě potřeby odmastit a důkladně otřít.
4. Alternativa – použít renovovaný spodní díl kluznice. Při tomto způsobu opravy použít příložku o tloušťce 7 mm.
5. Novou příložku pomocí zámečnických svěrek ustavit na místo a zkontrolovat polohu podle výkresové dokumentace. Činnou plochu příložky zakrýt. Například kusem plechu vhodné velikosti vloženým mezi svěrku a příložku.
6. Provést svaření příložky na kluznici s parametry dle pWPS č. 001 pro spodní díl kluznice – (polohovat vždy do polohy PB ). Čistit a prohlédnout, průběžně kontrolovat ustavení. Alternativy pWPS pro diplomovou práci pWPS 002, pWPS 003 pWPS 004, pWPS 005. Postupy svařování jsou součástí přílohy.
7. Kontrola provedené práce NDT - VT. Prováděcí předpis ČSN EN ISO 17637, stupeň kvality B dle ČSN EN ISO 5817.
8. Kontrola NDT – PT s četností 1x měsíčně. Prováděcí předpis ČSN EN ISO 3452-1, kritérium přípustnosti 2x podle ČSN EN ISO 23277. Záznam do Deníku defektoskopických kontrol.
9. V případě negativního výsledku provést opravu dle Pracovní instrukce pro opravu svaru manganové příložky, PI 4.2
10. Vystavení Protokolu o vizuální kontrole svaru – četnost 1x měsíčně. Záznam do svářečského deníku: MK, NDT – VT

## **Pracovní instrukce pro opravu prasklých svarů manganových příložek horního a spodního dílu odpružené kluznice PI 4.2**

1. Zpřístupnit místo opravy, horní díl kluznice odebrat a vizuálně identifikovat poškození. Oprava svaru příložky se provede, jestliže má prasklý svar na méně než 50 % délky svarové housenky a tato příložka není spadlá, prasklá nebo opotřebovaná.
2. Spodní díl kluznice se z podvozku nedemontuje.
3. Obrousit poškozený svar v celé délce praskliny. V případě potřeby odmastit a důkladně vytříit.
4. V případě podezření na neodstranění celého poškození provést NDT kontrolu – PT. Prováděcí předpis ČSN EN ISO 3452-1, kritérium přípustnosti 2x dle ČSN EN ISO 23277. Záznam do Deníku defektoskopických kontrol
5. V případě negativního výsledku celý postu opakovat od bodu 3.
6. Provést svar s parametry dle pWPS č. 001 pro spodní díl kluznice (svary v poloze PF a PB). Čistit a prohlédnout, průběžně kontrolovat ustavení.
7. Kontrola provedené práce NDT - VT. Prováděcí předpis ČSN EN ISO 17637, stupeň kvality B dle ČSN EN ISO 5817.
8. Kontrola NDT – PT s četností 1x měsíčně. Prováděcí předpis ČSN EN ISO 3452-1, kritérium přípustnosti 2x podle ČSN EN ISO 23277. Záznam do Deníku defektoskopických kontrol.
9. V případě negativního výsledku celý postup opakovat.
10. Vystavení Protokolu o vizuální kontrole svaru – četnost 1x měsíčně. Záznam do svářečského deníku: MK, NDT - VT.

## 5. OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ PROVEDENÝCH SVAROVÝCH SPOJŮ

V této části diplomové práce jsou ověřeny vlastnosti svarových spojů provedených navrženými přídavnými materiály a svarový spoj provedený na upravené kluznici.

Na vzorcích byly provedeny tyto zkoušky

- vizuální kontrola a penetrační kontrola
- makroskopická kontrola
  - hodnocení struktury a dokumentace skutečných rozměrů svaru
- mikroskopická kontrola
  - hodnocení struktury svarového kovu a hranice ztavení mezi SK a oběma základními materiály
- zkouška tvrdosti HV10
  - hodnocení průběhu tvrdosti na příčném řezu jednotlivých svarů

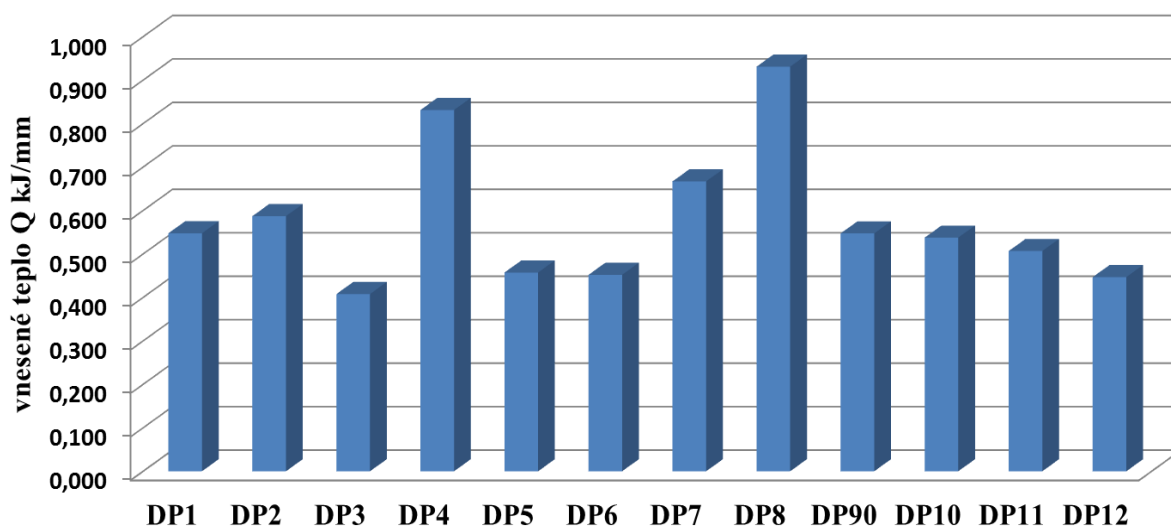
Pro zkoušení vizuální metodou byly vzorky hodnoceny ve stupni přípustnosti B podle ČSN EN ISO 5817. Z nedestruktivního zkoušení jsou protokoly o vizuální kontrole a penetrační kontrole součástí přílohy. Zkoušky makrostruktury, mikrostruktury a zkouška tvrdosti je dokumentována pro každý zkoušený vzorek obrazově na následujících stránkách.

Celkem bylo svařeno 12 zkušebních vzorků. Z nich byly 4 vzorky vybrány k montáži na podvozek pro odzkoušení v provozu po určitý časový úsek a následnou kontrolu. Jeden vzorek byl pro zkoušení vynechán, z důvodu dvou zástupců stejných podmínek svařování. Zbytek vzorků, sedm kusů, byl po svaření podroben zkoušení. Pro svaření dvou vzorků bylo použito přídavného materiálu o průměru 2 mm. Jedním z nich je vzorek po úpravě dosedací plochy navržené v kapitole 1.4. V tabulce č. 4 je přehled jednotlivých vzorků, použitých přídavných materiálů, metod svařování a jakosti kluznic.

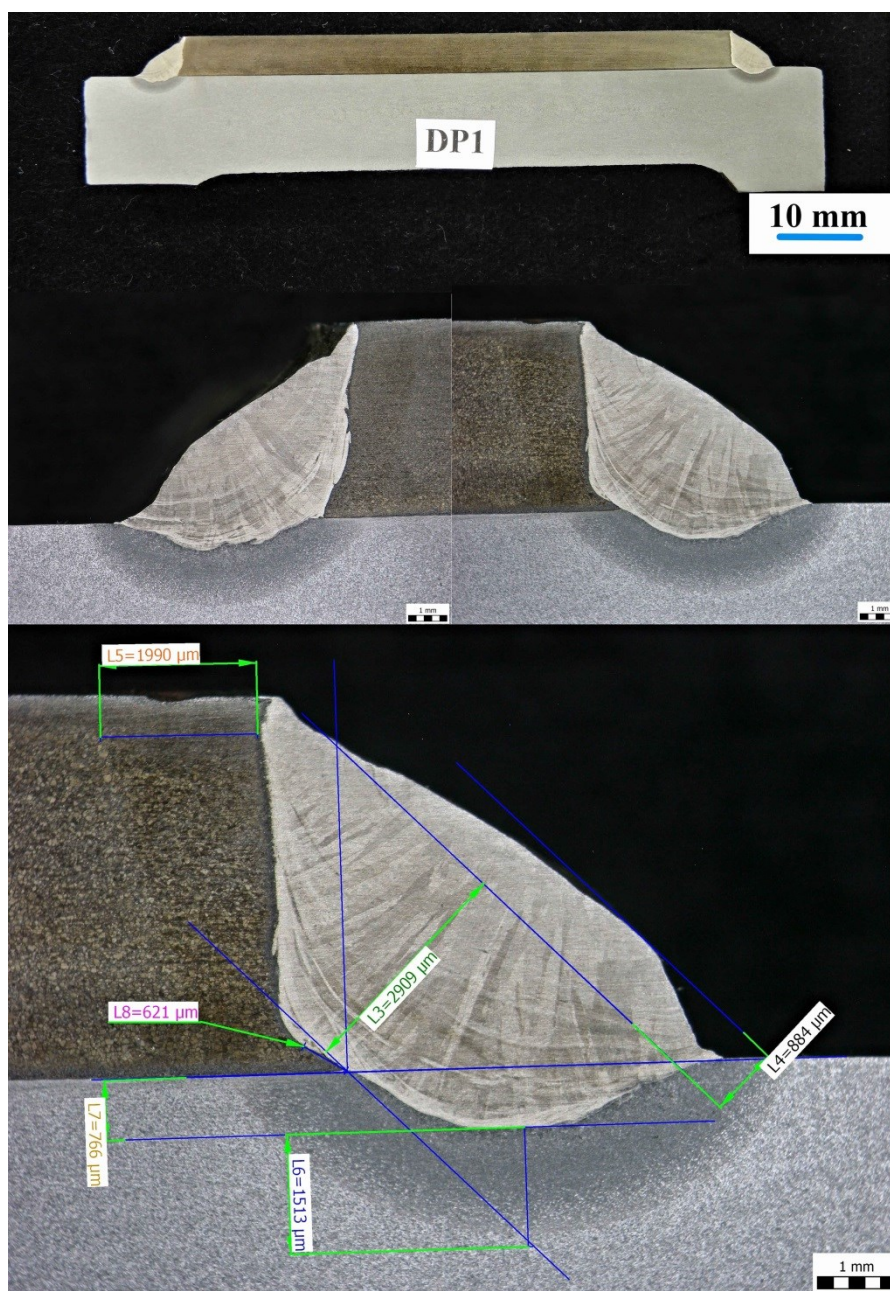
Vzorky byly svařovány tak, aby byly dodrženy, v teoretické části zmíněné, kritéria na nízkou hodnotu vneseného tepla  $Q$ . Tuto hodnotu dokumentuje graf na obrázku č. 17.

Tabulka 4 – Přehled jednotlivých vzorků

Na voze			Zkoušeno po svaření			
Vzorek	PM	Metoda	Vzorek	PM	Metoda	Jakost kluznice
Svary na nových dílech						
DP2	OK 67.45	111	DP1	OK 67.45	111	nový díl
DP3	Autrod 16.95	135	DP4	Autrod 16.95	135	nový díl
DP6	OK 68.81	111	DP8	Tigrod 16.95	141	nový díl
DP7	Tigrod 16.95	141	DP9	OK 67.45	111	starý díl
Vzorek DP5 nebyl použit			DP10	OK 68.81	111	starý díl
			DP11	OK 68.81 Ø 2mm	111	nový díl
			DP12	OK 68.81 Ø 2 mm	111	upravený díl, příložka tl. 7 mm

Obrázek 17 – Porovnání množství vneseného tepla  $Q$  do svaru

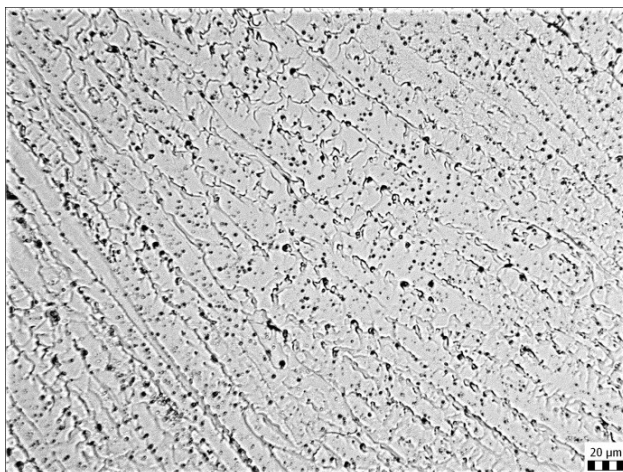
## Vzorek DP1



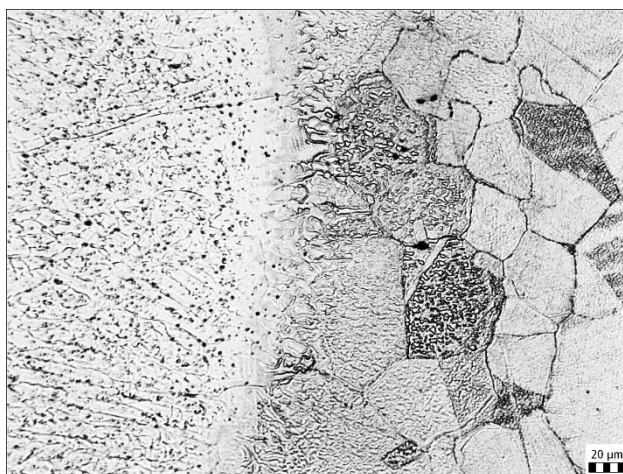
Obrázek 18 - Makroskopická kontrola vzorku DP1 s měřením parametrů svaru pro porovnání s vizuální kontrolou svaru

Tabulka 5 - Parametry svařování

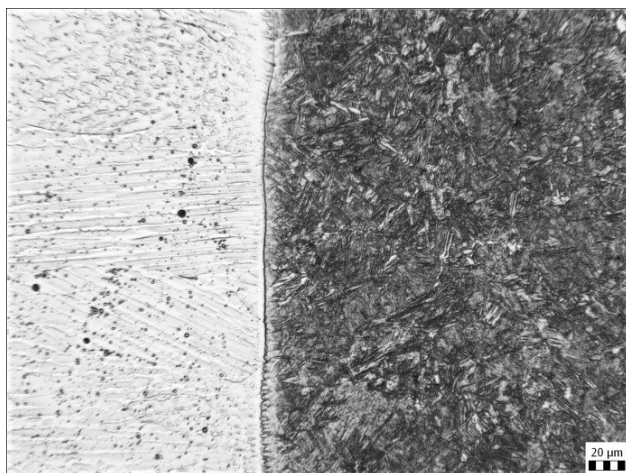
Strana	Svařovací proud [A]	Svařovací napětí [V]	Vnesené teplo [ $\text{kJ}\cdot\text{mm}^{-1}$ ]
P	80	23,2	0,544
L	80	23,2	0,588
Přídavný materiál OK 67.45		Metoda 111	



*Obrázek 19 - Mikrostruktura svarového kovu je lici tvořena austenitem a delta feritem, zvětšeno 200X*

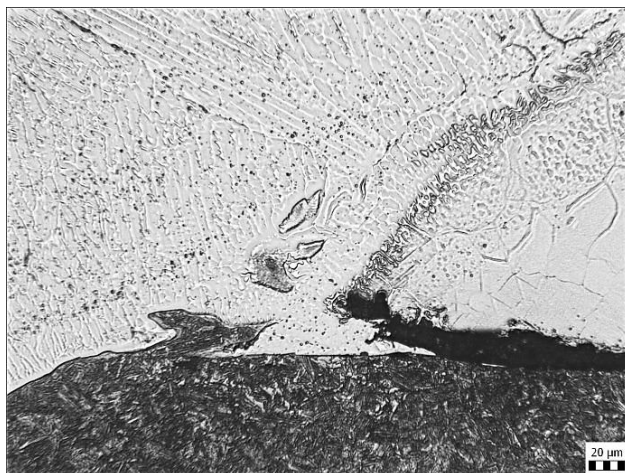


*Obrázek 20 - Hranice ztavení mezi SK a ZM příložky z manganové oceli, zvětšeno 200X*

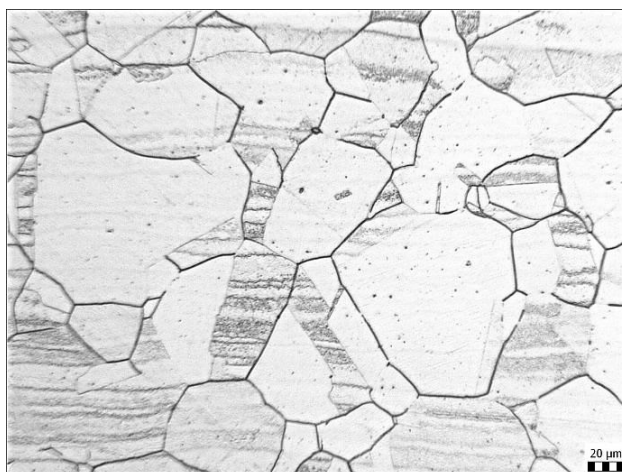


*Obrázek 21 - Hranice ztavení mezi ZM kluznice a SK, v ZM kluznice bainitická struktura, zvětšeno 200X*

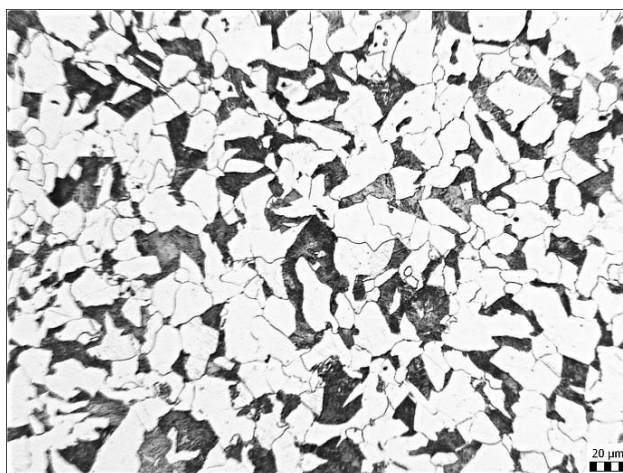




*Obrázek 22 - Detail oblasti kořene, nedostatečný průvar, zvětšeno 200X*



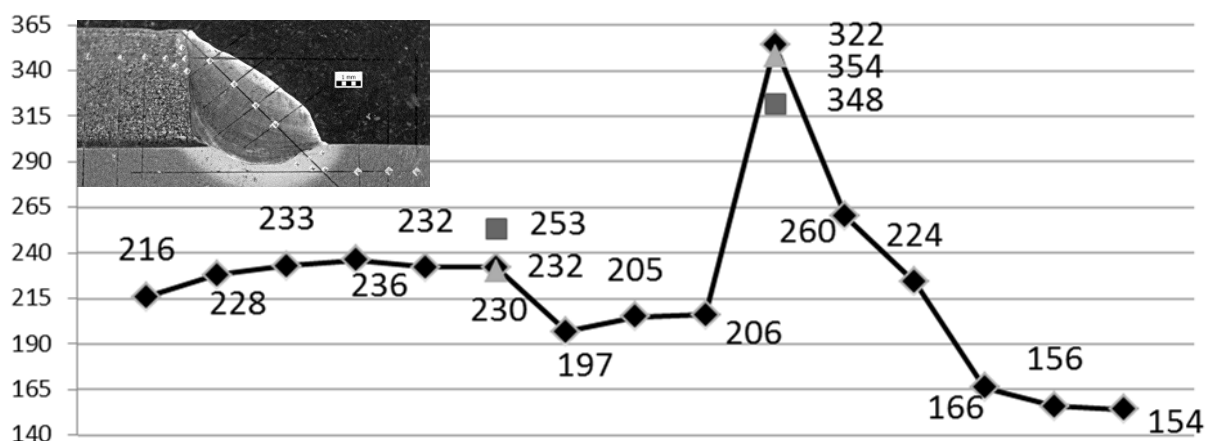
*Obrázek 23 - Mikrostruktura základního materiálu přílozek, austenitická struktura manganové oceli, zvětšeno 200X*



*Obrázek 24 – Feriticko-perlitická mikrostruktura základního materiálu kluznice, lamelární perlit, zvětšeno 200X*

Tabulka 6 - Jednotlivé hodnoty tvrdosti HV10

ZM Mn příložka			TOO			SVAROVÝ KOV			TOO			ZM GS-45		
					253				322					
216	228	233	236	232	232	197	205	206	354	260	224	166	156	154
					230				348					



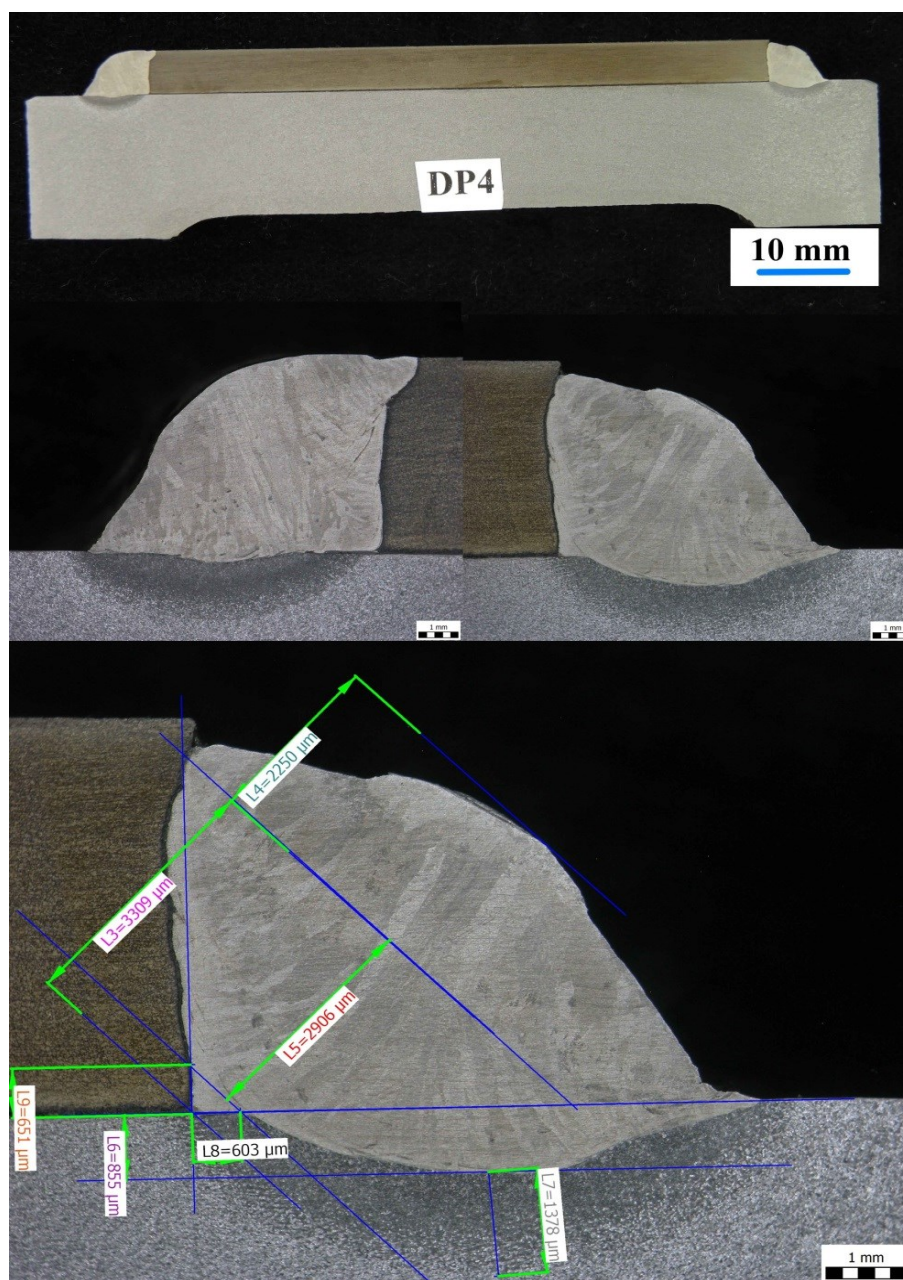
Obrázek 25 - Průběh tvrdosti vzorkem DP1

Vzorek DP1 byl svařen přídavným materiálem OK 67.45 a metodou 111. Vizuální a penetrační kontrola neodhalila žádné povrchové vady svaru. Při kontrole makrostruktury vzorek také vyhověl při kritériu stupně jakosti B dle ČSN EN ISO 5817.

Kontrolou mikrostruktury byl zjištěn v kořeni neprůvar koutového svaru detail na obrázku číslo 22. Hranice ztavení mezi svarovým kovem a oběma základními materiály nevykazuje žádné vady typu studený spoj nebo trhlinka, naopak obě HZ mají dobré promísení. Mikrostruktura SK je lící austenitická s delta feritem. Mikrostruktura základních materiálů je v manganové oceli tvořena austenitem a v materiálu kluznice feriticko-perlitická s různým uspořádáním až po rovnoměrnou strukturu, tyto struktury základních materiálů již nebudou u následujících vzorků dokumentovány

Pro zkoušku tvrdosti byla podle ČSN EN ISO 15614-1 maximální hodnota tvrdosti stanovena na 380 HV10. Měření proběhlo podle schématu na obrázku číslo 25. Stanovená tvrdost nebyla překročena.

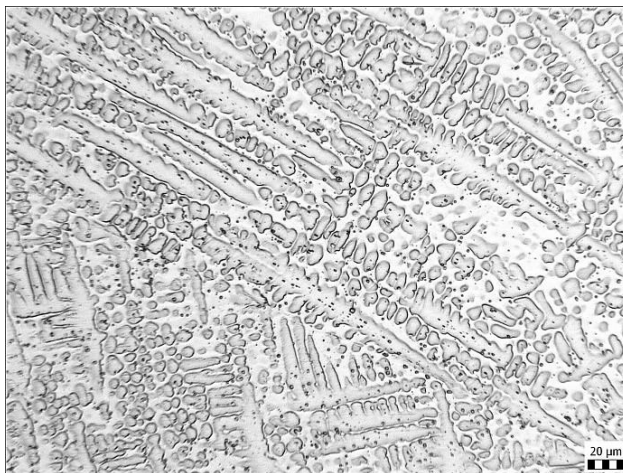
## Vzorek DP4



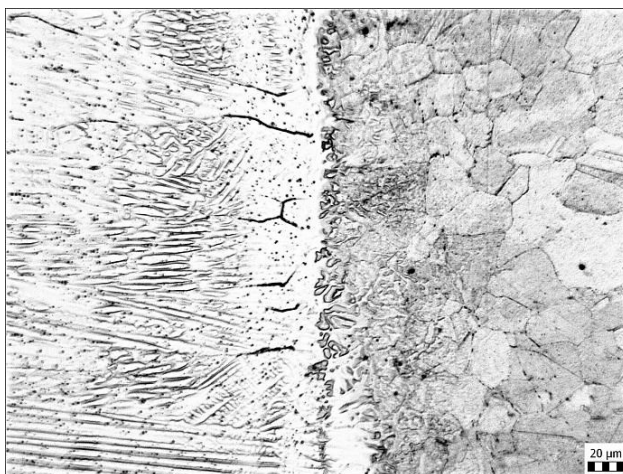
Obrázek 26 - Makroskopická kontrola vzorku DP4 s měřením parametrů svaru

Tabulka 7 - Parametry svařování vzorku DP4

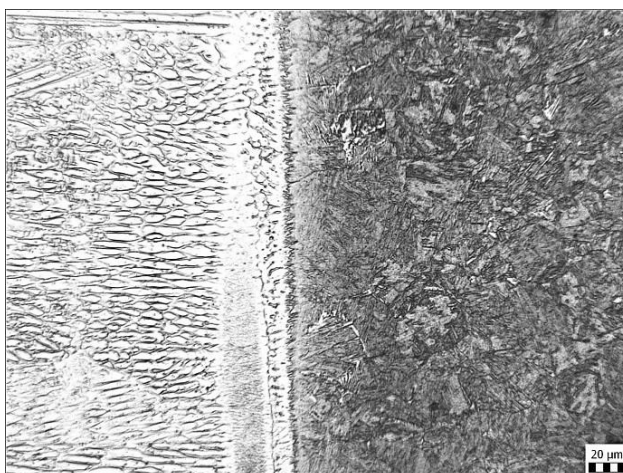
Strana	Svařovací proud [A]	Svařovací napětí [V]	Vnesené teplo [ $\text{kJ}\cdot\text{mm}^{-1}$ ]
P	180	20	0,72
L	180	20	0,692
Přídavný materiál OK AUTROD 16.95			Metoda 135



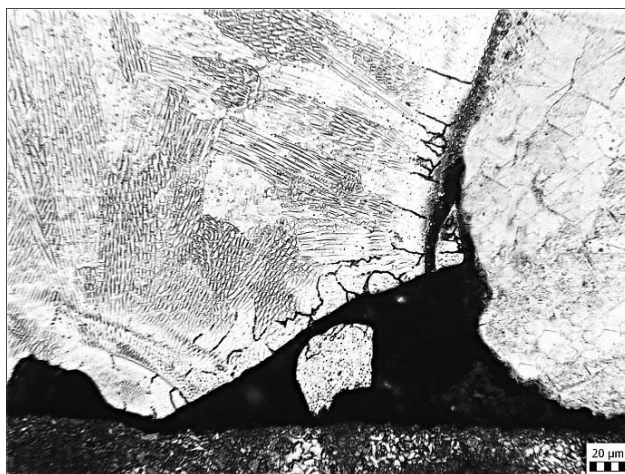
*Obrázek 27 - Mikrostruktura svarového kovu, tvořená austenitem a delta feritem, zvětšeno 200X*



*Obrázek 28 - Hranice ztavení mezi SK a ZM příločky z manganové oceli, zvětšeno 200X*



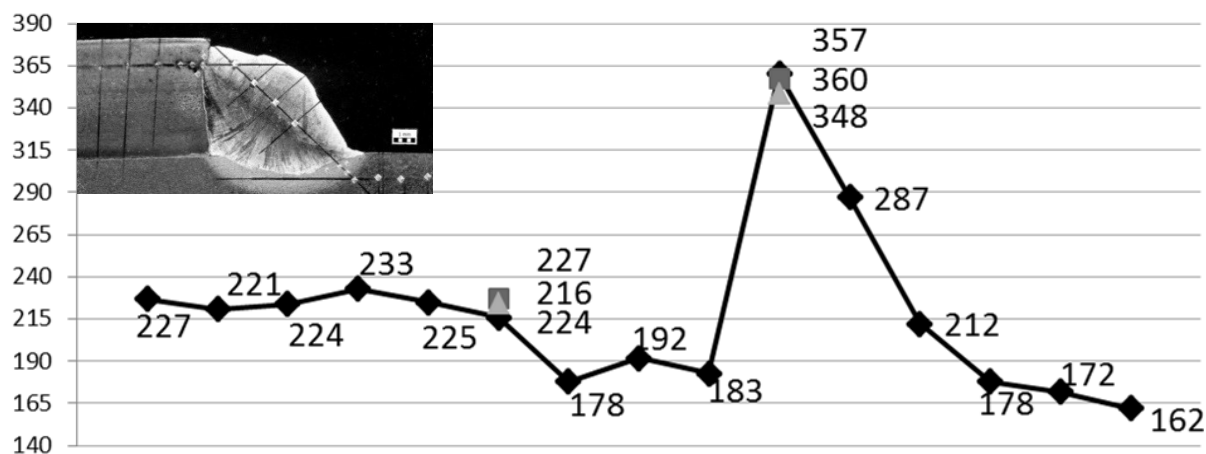
*Obrázek 29 - Hranice ztavení mezi ZM kluznice a SK, v ZM kluznice bainitická struktura, zvětšeno 200X*



Obrázek 30 - Detail oblasti kořene, nedostatečný průvar, zvětšeno 200X

Tabulka 8 - Jednotlivé hodnoty tvrdosti HV10

ZM Mn příložka			TOO			SVAROVÝ KOV			TOO			ZM GS-45		
					227				357					
227	221	224	233	225	216	178	192	183	360	287	212	178	172	162
					224				348					



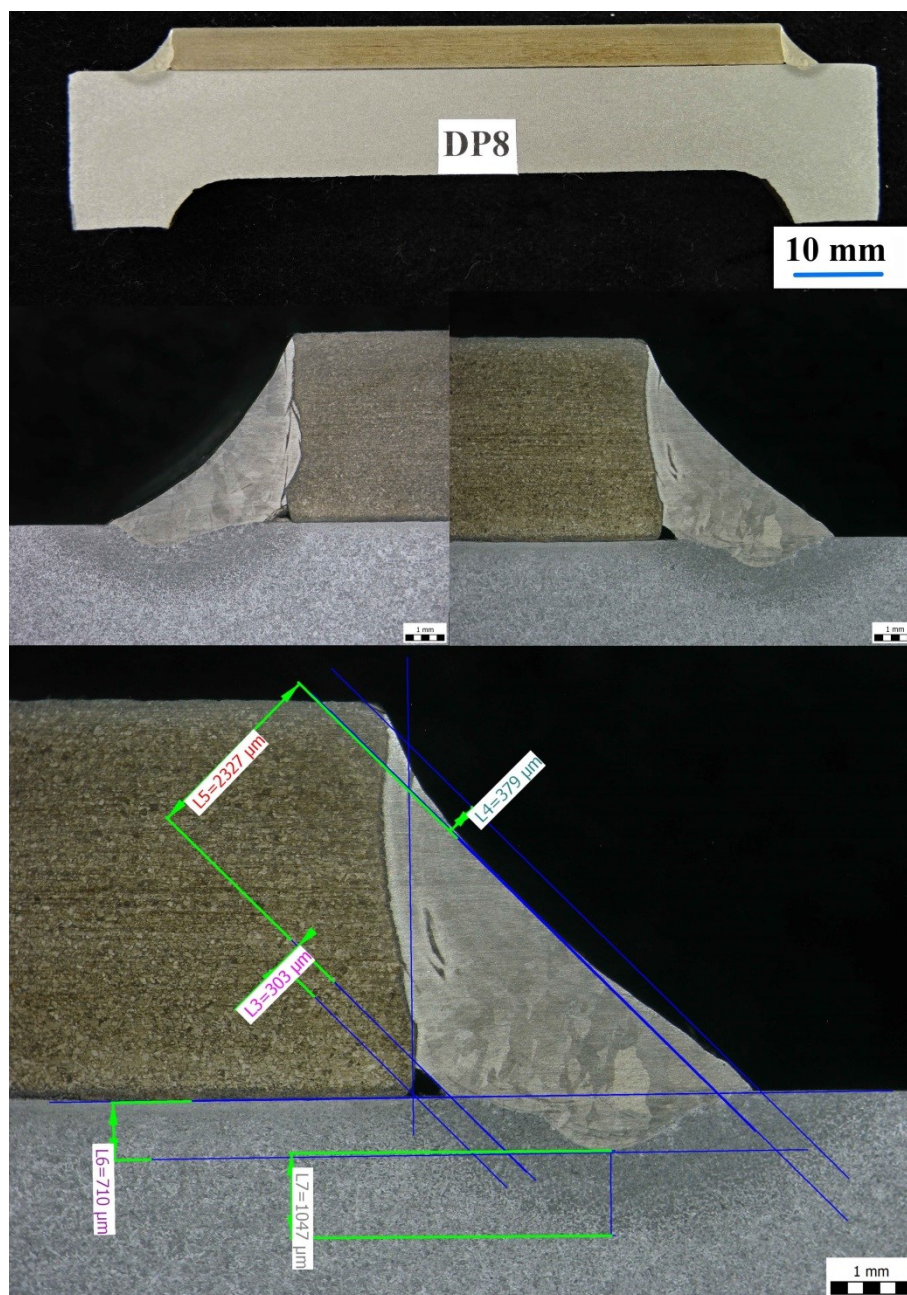
Obrázek 31 - Průběh tvrdosti vzorkem DP4

Svaření vzorku DP4 bylo metodou 135 s přídatným materiálem OK AUTROD 16.95. Nedestruktivní zkoušení neprokázalo žádné vady povrchu svaru avšak při makro a mikrokontrola byl opět zjištěn neprůvar a studený spoj v kořeni koutového svaru. Popis mikrostruktur svarového spoje, HZ a TOO se shoduje s popisem vzorku DP1.

Graf na obrázku číslo 31 dokumentuje, že maximální hodnota tvrdosti HV10 nebyla překročena.



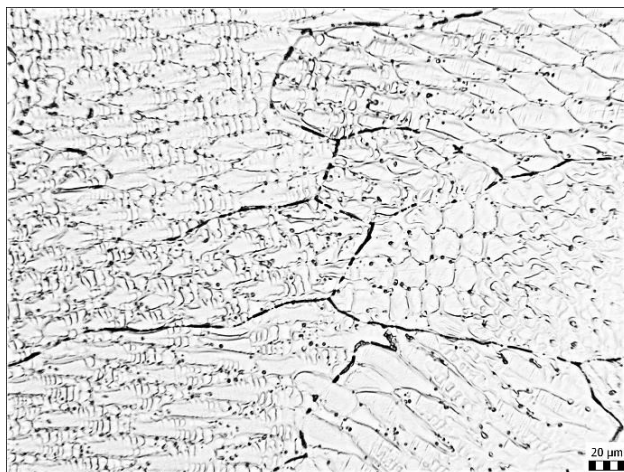
## Vzorek DP8



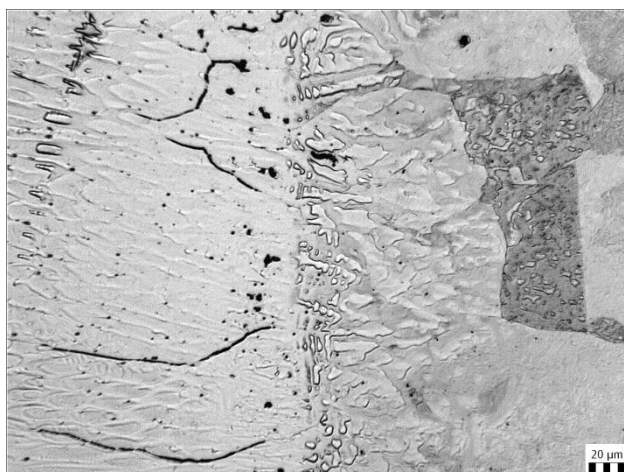
Obrázek 32 - Makroskopická kontrola vzorku DP8 s měřením parametrů svaru

Tabulka 9 - Parametry svařování vzorku DP8

Strana	Svařovací proud [A]	Svařovací napětí [V]	Vnesené teplo [ $\text{kJ}\cdot\text{mm}^{-1}$ ]
P	100	14	1,03
L	100	14	0,965
Přídavný materiál OK TIGROD 16.95			Metoda 141



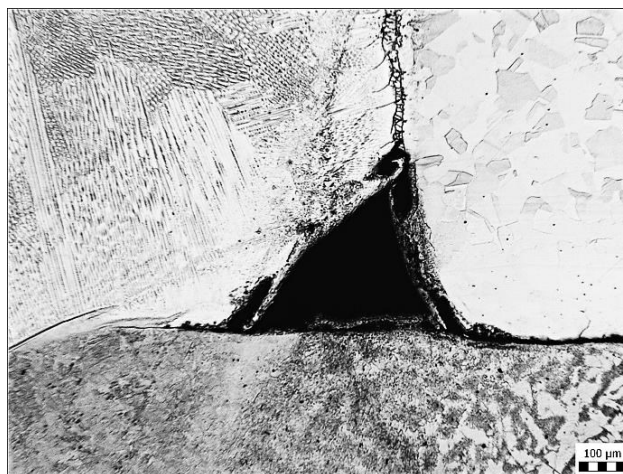
*Obrázek 33 - Mikrostruktura svarového kovu, tvořená austenitem a delta feritem, zvětšeno 200X*



*Obrázek 34 - Hranice ztavení mezi SK a ZM příložky z manganové oceli, zvětšeno 200X*



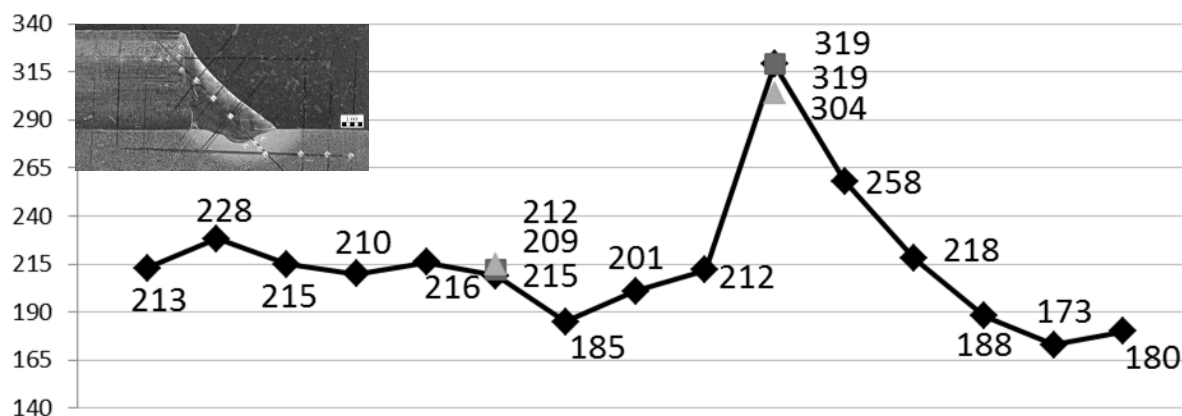
*Obrázek 35 - Hranice ztavení mezi svarem, v materiálu kluznice struktura tvořena směsí základních struktur, zvětšení 200X*



Obrázek 36 - Detail oblasti kořene, nedostatečný průvar, zvětšeno 200X

Tabulka 10 - Jednotlivé hodnoty tvrdosti HV10

ZM Mn příložka			TOO			SVAROVÝ KOV			TOO			ZM GS-45		
					212				319					
213	228	215	210	216	209	185	201	212	319	258	218	188	173	180
					215				304					



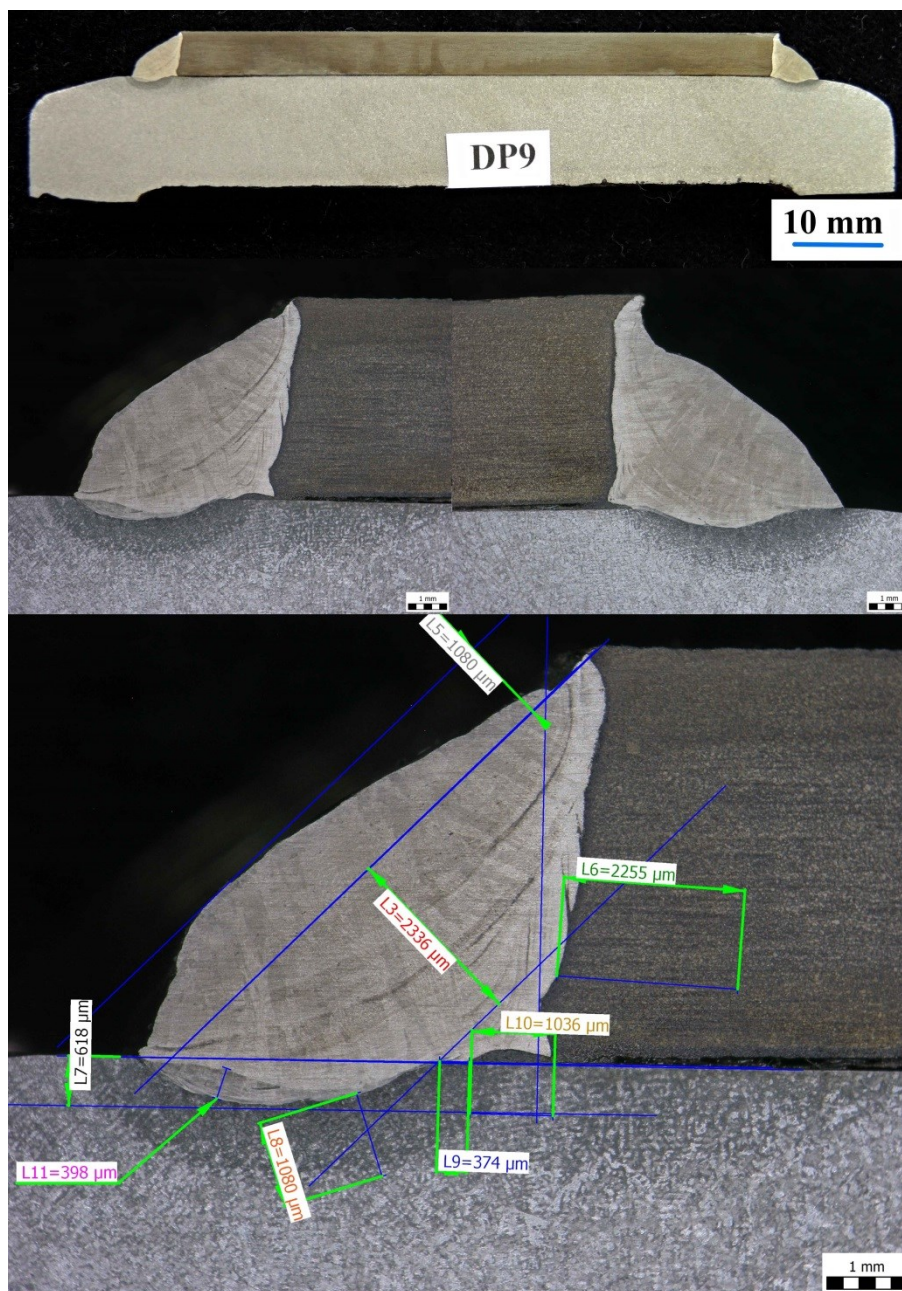
Obrázek 37 - Průběh tvrdosti vzorkem DP8

Vzorek DP8 je svařen metodou 141 a přídavným materiálem o stejném složení jako předešlé dva vzorky. Při vizuální kontrole svaru byl vzorek označen jako nevyhovující pro podkročení velikosti koutového svaru. Z výsledků měření při makroskopické kontrole je skutečná velikost svaru  $a = 2,6$  mm. Mikrostruktura svarového spoje, HZ a TOO se shoduje s popisem vzorků předešlých. Neprůvar kořene je u tohoto vzorku největší.

Maximální hodnota tvrdosti HV10 nebyla překročena, což dokumentuje graf na obrázku číslo 37.



## Vzorek DP9



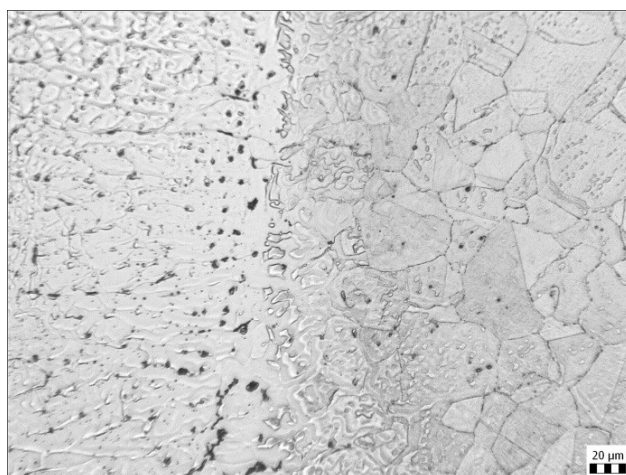
Obrázek 38 - Makroskopická kontrola vzorku DP9 s měřením parametrů svaru

Tabulka 11 - Parametry svařování vzorku DP9

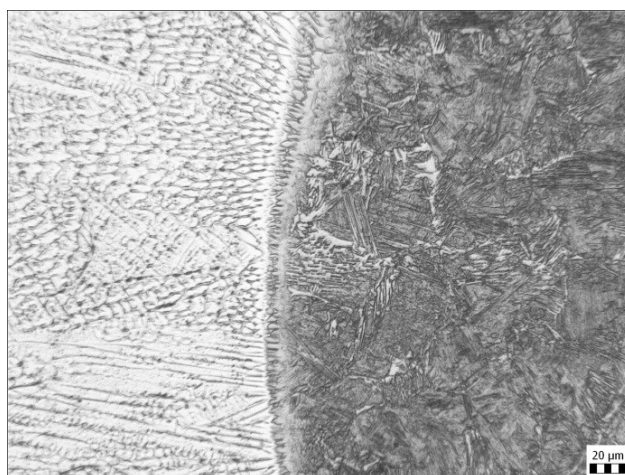
Strana	Svařovací proud [A]	Svařovací napětí $\circ$ [V]	Vnesené teplo [ $\text{kJ}\cdot\text{mm}^{-1}$ ]
P	85	23,4	0,491
L	85	23,4	0,503
Přídavný materiál OK 67.45		Metoda 111	



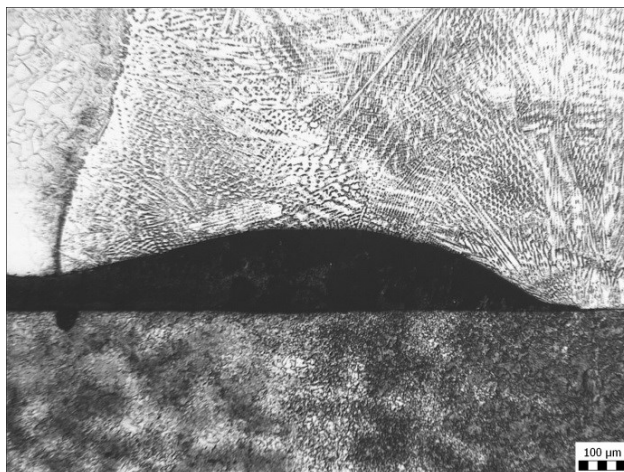
*Obrázek 39 - Mikrostruktura svarového kovu je licí s austenitem a delta feritem, zvětšeno 200X*



*Obrázek 40 - Hranice ztavení mezi SK a ZM příložky z manganové oceli, zvětšeno 200X*



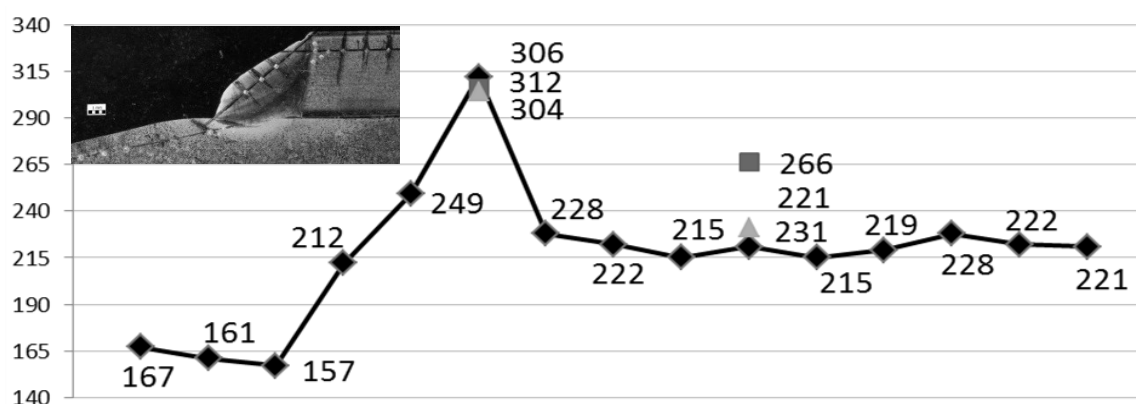
*Obrázek 41 - Hranice ztavení mezi ZM kluznice a SK, v ZM je struktura tvořena bainitem a feritem vytvářející náznaky nesouvislého síťoví, zvětšeno 200X*



Obrázek 42 - Detail oblasti kořene, nedostatečný průvar, zvětšeno 200X

Tabulka 12 - Jednotlivé hodnoty tvrdosti HV10

ZM GS-45			TOO			SVAROVÝ KOV			TOO			ZM Mn příložka		
					306				266					
167	161	157	212	249	312	228	222	215	221	215	219	228	222	221
					304				231					



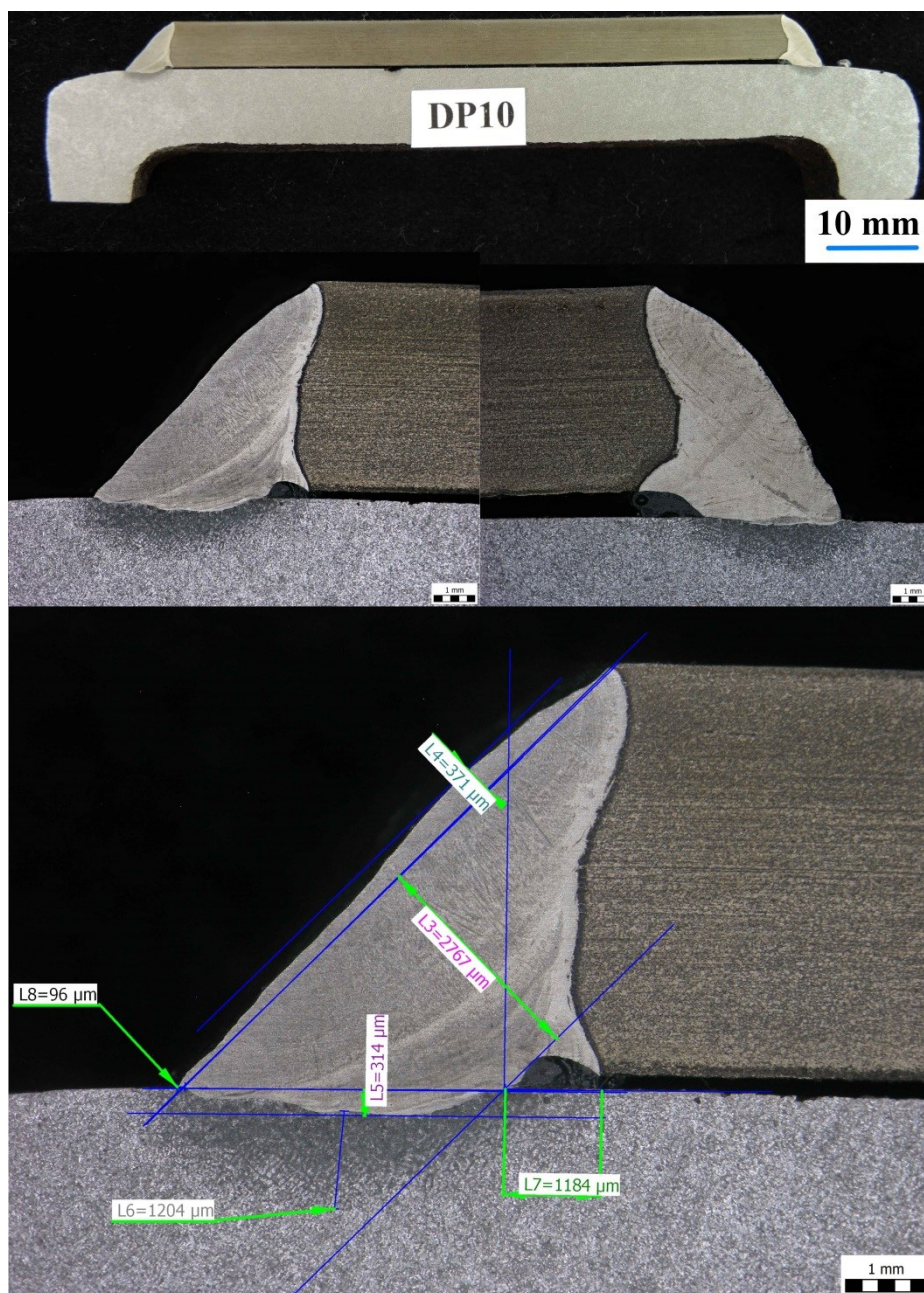
Obrázek 43 – Průběh tvrdosti vzorkem DP9

Pro svaření vzorku DP9 byl použit, po odbroušení původního svaru, starý díl kluznice a metoda 111 s přídavným materiálem OK 67.45. Nedestruktivní zkoušení neprokázalo žádné vady. Při makroskopické kontrole byl zjištěn neprůvar a studený spoj v kořenové oblasti. Při kontrole rozměrů svaru tyto dvě vady zmenšily skutečný rozměr svaru  $a$  o 1 mm. Na obrázku číslo 42 je detail této vady při mikroskopické kontrole. Svarový kov, HZ a TOO byla při kontrole mikrostruktury se stejnými strukturními fázemi jako u předešlých vzorků, u kterých je použit stejný typ PM.

Ani u tohoto vzorku nebyla překročena maximální přípustná hodnota tvrdosti HV10.



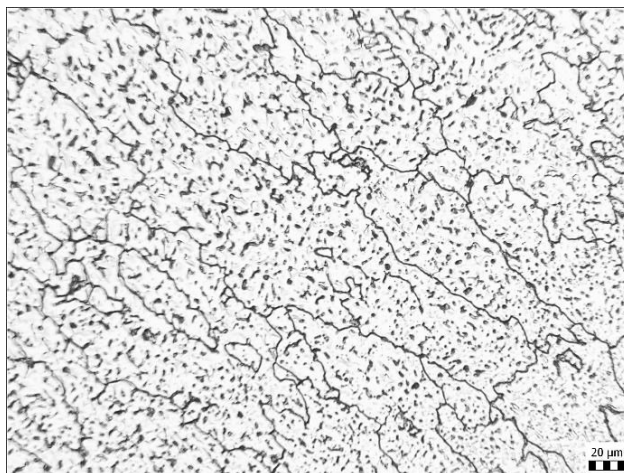
## Vzorek DP10



Obrázek 44 - Makroskopická kontrola vzorku DP10 s měřením parametrů svaru.

Tabulka 13 – Parametry svařování vzorku DP10

Strana	Svařovací proud [A]	Vnesené teplo [kJ·mm <sup>-1</sup> ]
P	85	0,55
L	85	0,55
Přídavný materiál OK 68.81		Metoda 111



*Obrázek 45 - Mikrostruktura svarového kovu je licí, tvořena austenitem a delta feritem, zvětšeno 200X*



*Obrázek 46 - Hranice ztavení mezi svarovým kovem a příložkou, zvětšeno 200X*



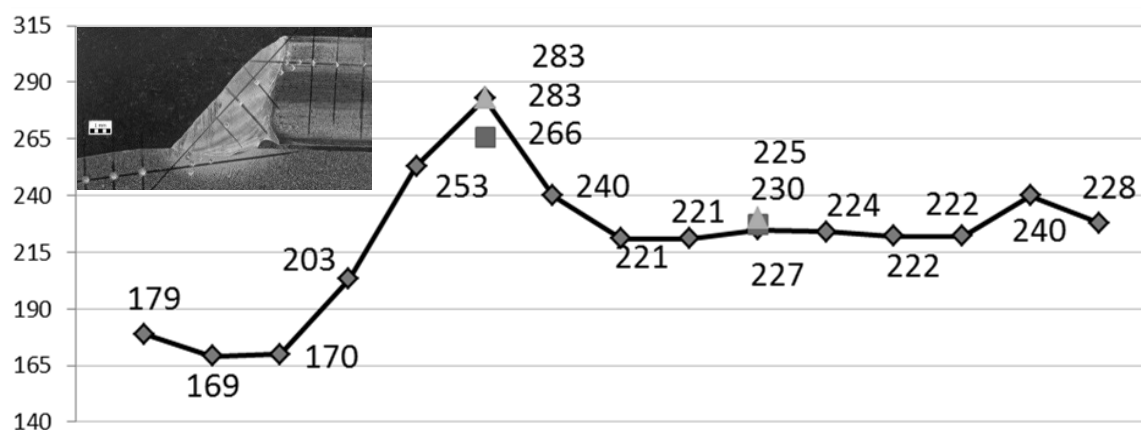
*Obrázek 47 - Hranice ztavení mezi ZM kluznice a SK, v ZM je struktura tvořena bainitem a feritem vytvářející nesouvislé síťoví, zvětšeno 200X*



Obrázek 48 - Detail oblasti kořene, nedostatečný průvar, a defekt v kořeni, zvětšeno 200X

Tabulka 14 - Jednotlivé hodnoty tvrdosti HV10

ZM GS-45			TOO			SVAROVÝ KOV			TOO			ZM Mn příložka		
					283				230					
179	169	170	203	253	283	240	221	221	225	224	222	222	240	228
					266				227					



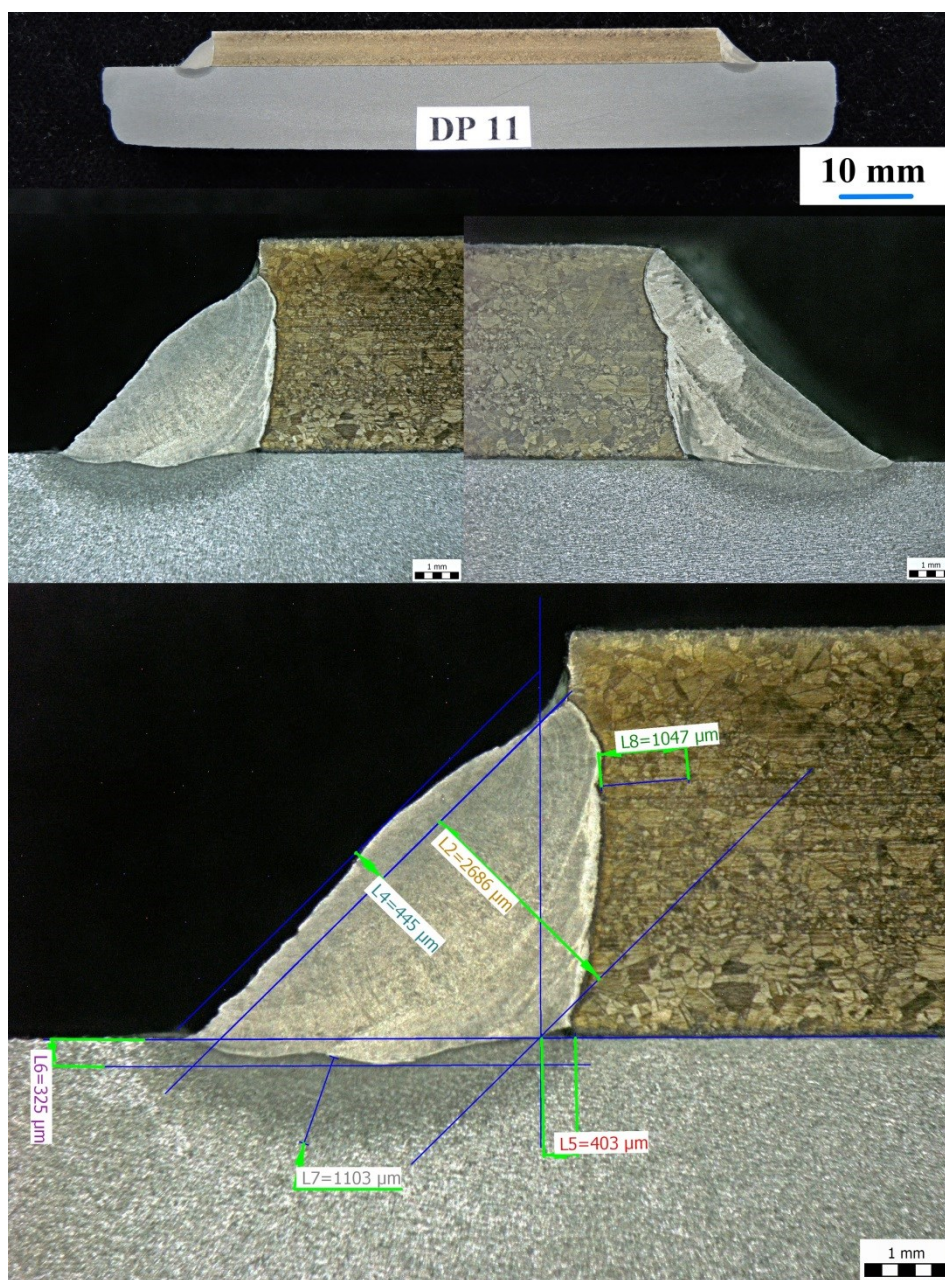
Obrázek 49 - Průběh tvrdosti vzorkem DP10

Vzorek DP10 je svařen metodou 111 s PM OK 68.81 na již jednou použité kluznici. Vizuální i penetrační kontrola nenalezla žádné vady. Kontrolou mikrostruktury je i v tomto vzorku neprůvar v kořeni, který snižuje předepsanou velikost svaru  $a = 3,5$  mm o 1 mm. Kontrolou mikrostruktury byla v tomto neprůvaru zjištěna trhlina. Mikrostruktura SK je lící tvořená austenitem s delta feritem, hranice ztavení obou ZM je v pořádku.

Hodnoty tvrdosti HV10 nepřekračují maximální přípustnou hodnotu 380HV10.



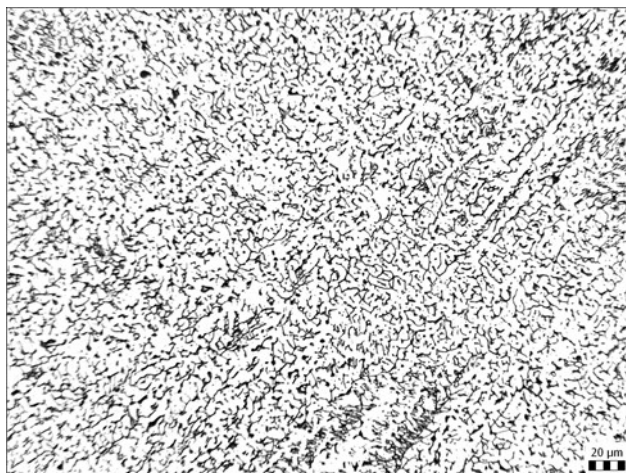
## Vzorek DP11



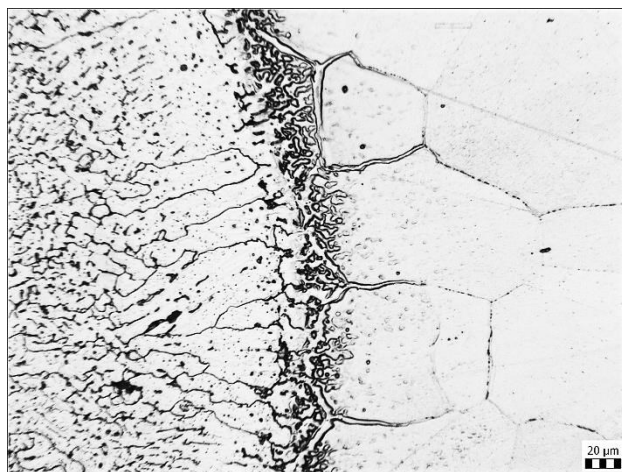
Obrázek 50 Makroskopická kontrola a měření vzorku DP11

Tabulka 15 – Parametry svařování vzorku DP11

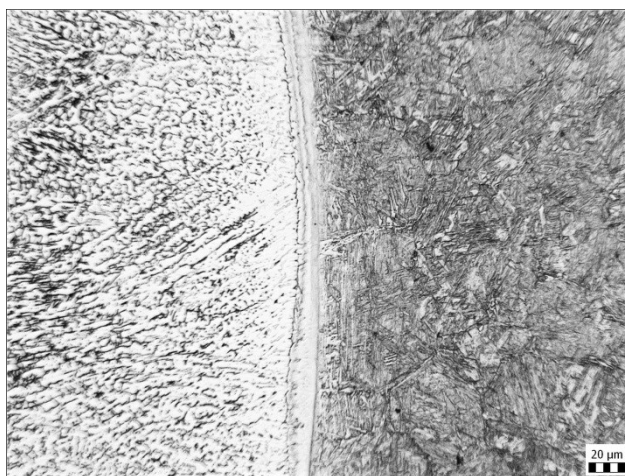
Strana	Svařovací proud [A]	Svařovací napětí [V]	Vnesené teplo [ $\text{kJ}\cdot\text{mm}^{-1}$ ]
P	85	23,4	0,55
L	85	23,4	0,55
Přídavný materiál OK 68.81		Metoda 111	



*Obrázek 51- Mikrostruktura svarového kovu tvořená austenitem a delta feritem, zvětšeno 200X*

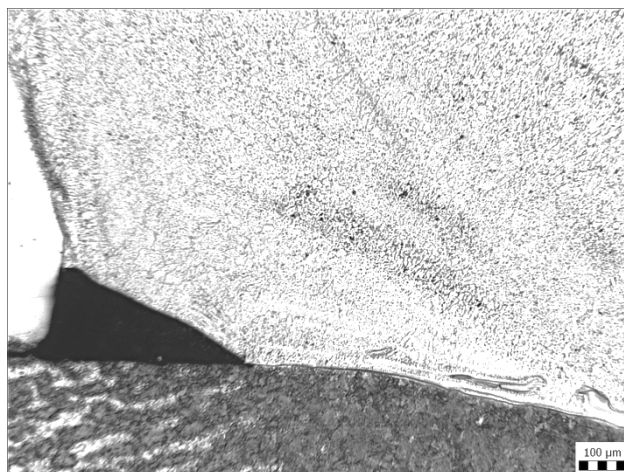


*Obrázek 52 – Hranice ztavení mezi svarovým kovem a základním materiálem z manganové oceli, jsou vidět natavené hranice austenitických zrn Mn oceli vyplněné svarovým kovem zvětšeno 200X*



*Obrázek 53 – Hranice ztavení mezi SK a základním materiálem kluznice, zvětšeno 200X*

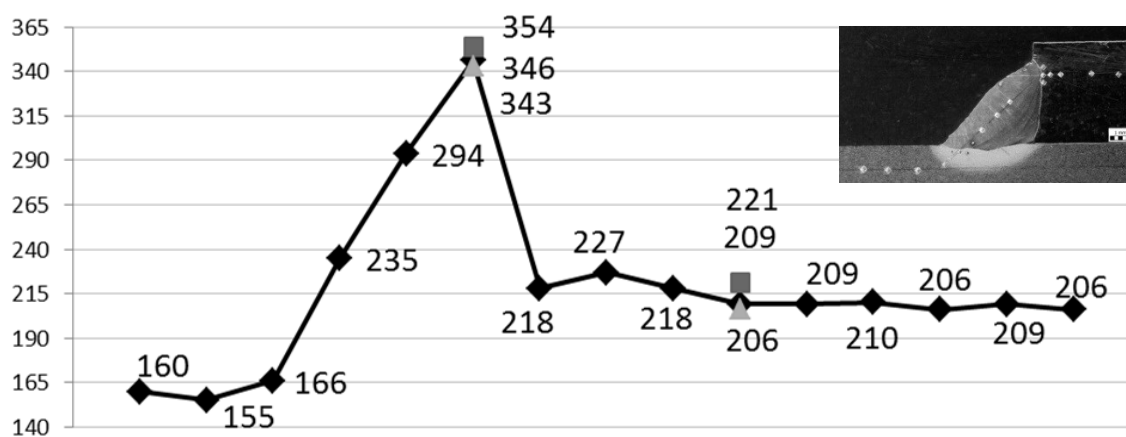




Obrázek 54 – Detail kořenové části, nepřivar kořene  
zvětšeno 200X

Tabulka 16 – Jednotlivé hodnoty tvrdosti HV10

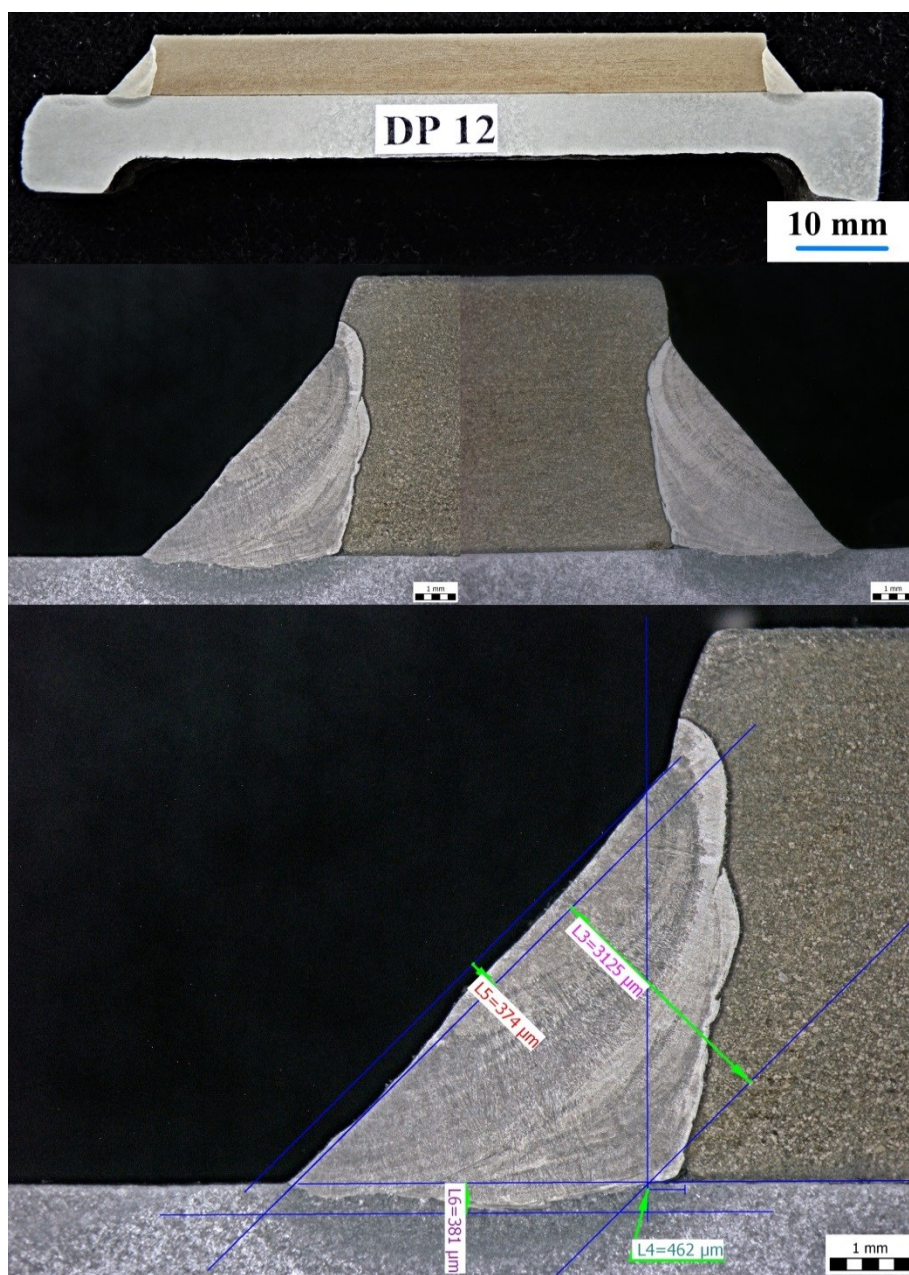
ZM GS-45			TOO			SVAROVÝ KOV			TOO			ZM Mn příložka		
					354				221					
160	155	166	235	294	346	218	227	218	209	209	210	206	209	206
					343				206					



Obrázek 55 – Průběh tvrdosti vzorkem DP11

Komentář ke vzorku DP11 je uveden společně se vzorkem DP12.

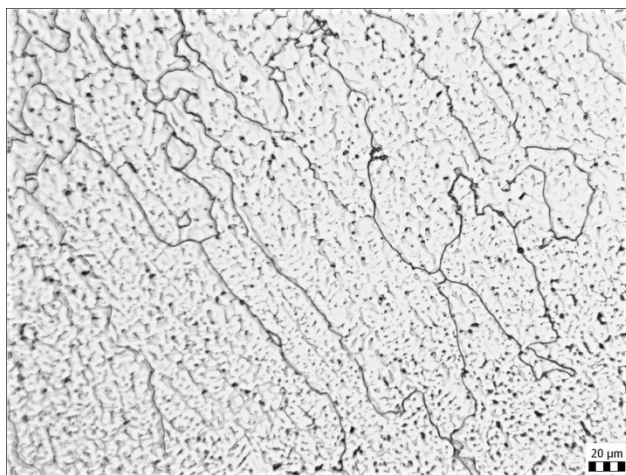
## Vzorek DP12



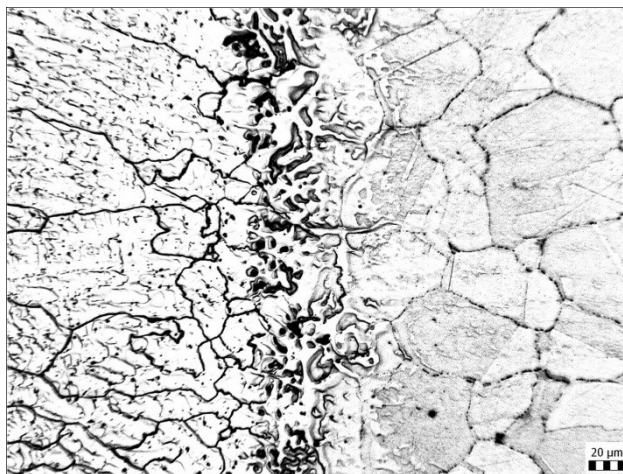
Obrázek 56 - Makroskopická kontrola a měření vzorku DP12

Tabulka 17 – Parametry svařování vzorku

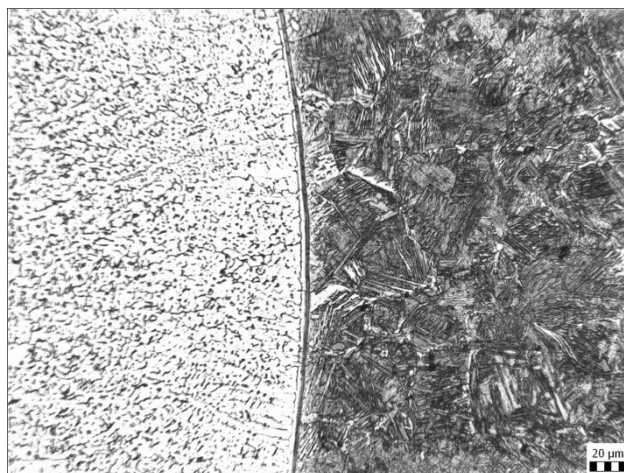
Strana	Svařovací proud [A]	Svařovací napětí [V]	Vnesené teplo [ $\text{kJ}\cdot\text{mm}^{-1}$ ]
P	85	23,4	0,55
L	85	23,4	0,55
Přídavný materiál OK 68.81		Metoda 111	



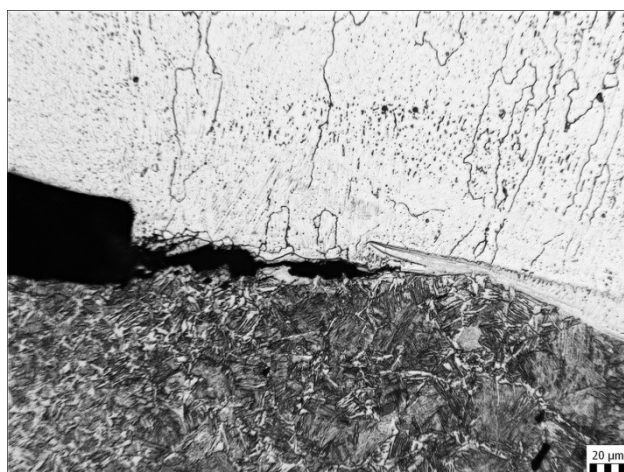
*Obrázek 57 – Lící mikrostruktura svarového kovu, austenit a delta ferit, zvětšeno 200X*



*Obrázek 58 - Hranice ztavení mezi svarovým kovem a příložkou, zvětšeno 200X*



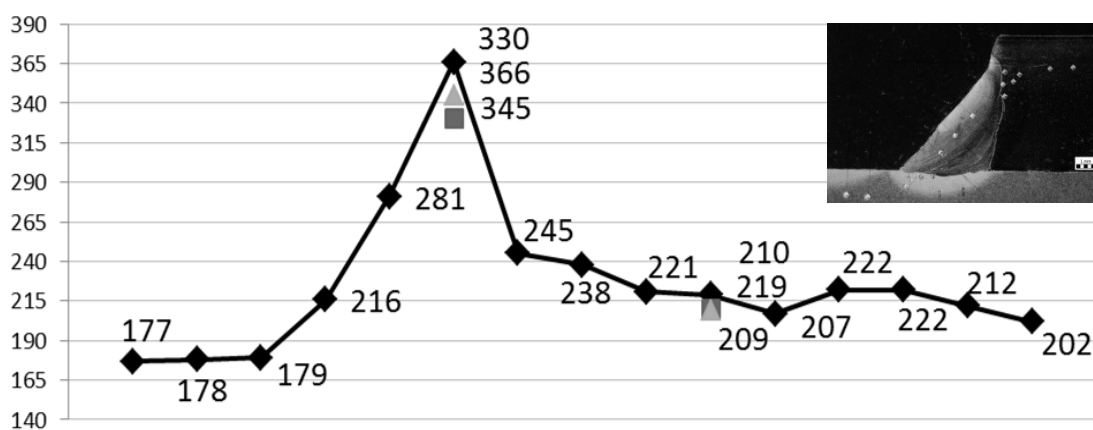
*Obrázek 59 - Hranice ztavení mezi SK a základním materiálem kluznice, zvětšeno 200X*



Obrázek 60 – Detail oblasti kořene a zárodek trhliny v kořeni, zvětšeno 200X

Tabulka 18 – Jednotlivé hodnoty tvrdosti HV10

ZM GS-45			TOO			SVAROVÝ KOV			TOO			ZM Mn příložka		
					330				210					
177	366	179	216	281	366	245	238	221	219	207	222	222	212	202
					345				209					



Obrázek 61 - Průběh tvrdosti vzorkem DP12

Vzorek DP 11 je spolu se vzorkem DP12 svařen přídavným materiálem OK 68.81 o průměru 2 mm. Vizuální kontrola vzorku DP11 i penetrační kontrola jsou bez nalezených vad. Vzorek DP11 je na novém díle kluznice zatímco DP12 je renovovaná kluznice podle kapitoly 1.4. Při vizuální i penetrační kontrole nebyly nalezeny žádné vady svaru, oba vzorky vyhověly na zkušební kritéria. U obou vzorků byl kontrolou makrostruktury zjištěn nedostatečný průvar v kořeni. U vzorku DP12 se kontrolou potvrdil předpoklad, že úpravou



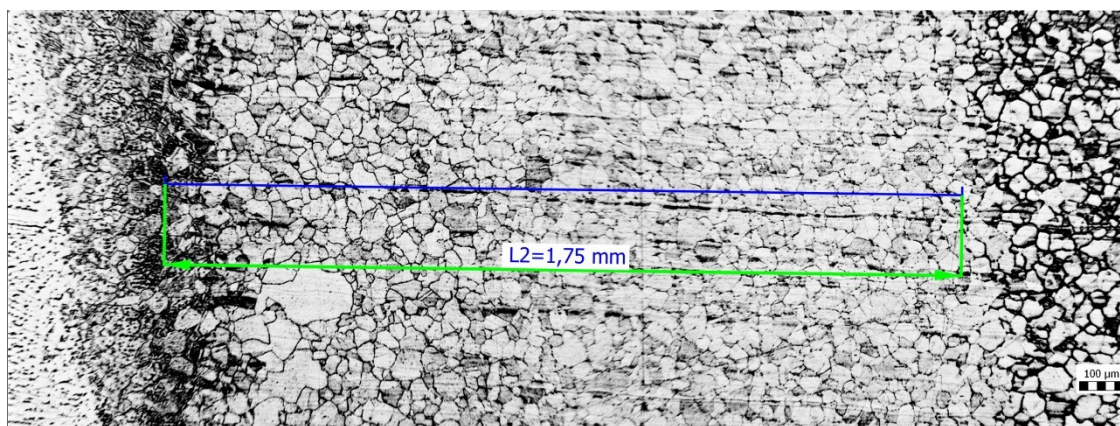
kluznice frézováním se zcela odstraní zbytky původního svaru a rovinnost dosedací plochy pro manganovou příložku je oproti broušení kvalitnější a vhodnější.

Mikrostruktura SK je lící austenitická s delta feritem. Mikrostruktura základních materiálů je v manganové oceli tvořena austenitem a v materiálu kluznice feriticko - perlitická. Obrázky 54 a 60 dokumentují při mikroskopické kontrole vady v kořeni.

Nejvyšší hodnoty tvrdosti HV10 jsou u obou vzorků pod požadovanou hranicí 380 HV10.

### **Tepelně ovlivněné oblasti.**

Na obrázku číslo 62 je dokumentace šířky TOO, při mikroskopické kontrole, v základním materiálu manganové příložky. Šířky TOO ve vzorcích jsou obdobné avšak při



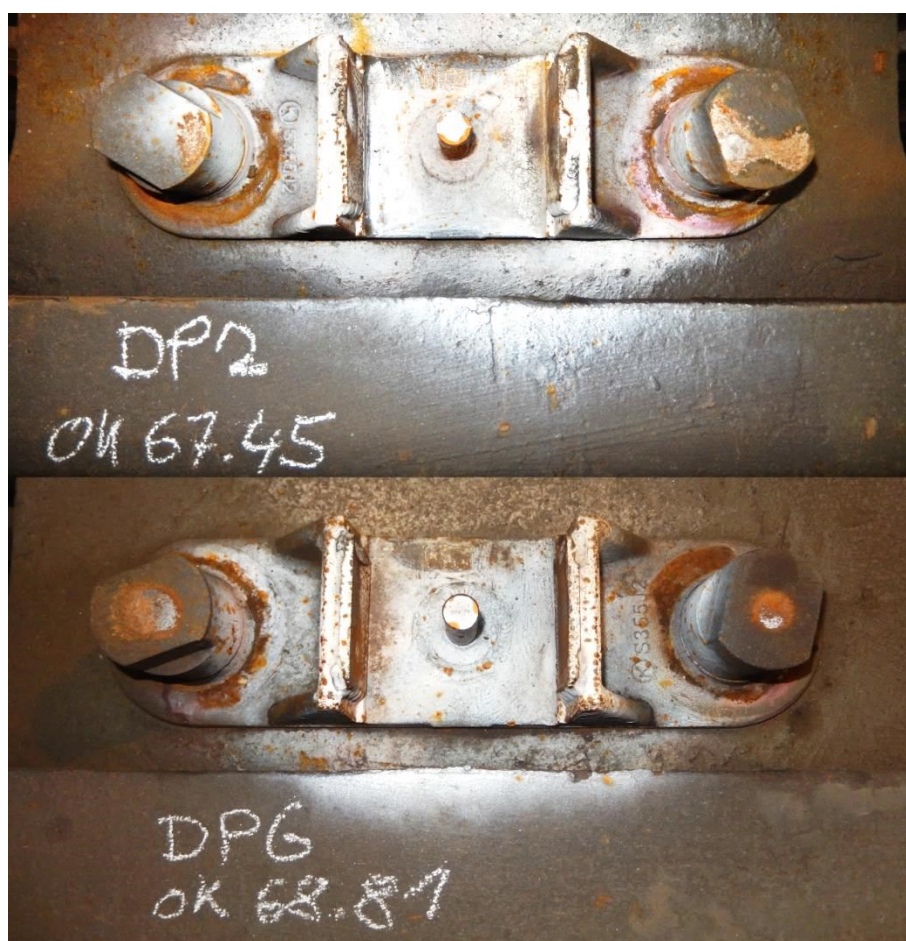
*Obrázek 62 – Šířka TOO*

makroskopické kontrole není TOO zřetelná. V základním materiálu kluznice je šířka TOO dokumentována na jednotlivých obrázcích z makroskopické kontroly. Průměrná šířka TOO je v tomto díle 1,1 mm.

## 6. OVĚŘENÍ PROVOZNÍCH VZORKŮ

Součástí práce je také ověření svarových spojů v provozu. Při svařování vzorků byly svařeny vždy dva vzorky stejnou metodou svařování a stejným PM. Po nedestruktivním zkoušení vizuální a penetrační metodou byly vzorky rozděleny a na části vzorků bylo destruktivní zkoušení provedeno ihned a druhá část byla po montáži na podvozek zkoušena v provozu po dobu 6 měsíců. Vybrané vzorky pro montáž DP2, DP3, DP6 a DP7 byly v průběhu provozního zkoušení ještě jednou zkontrolovány defektoskopicky penetrační metodou a naposledy před demontáží při ukončení experimentu. V obou případech nebyly nalezeny žádné na povrchu viditelné vady.

Pro konečné odzkoušení svarových spojů a ověření jejich vlastností při makroskopické kontrole byly vybrány a z vozu demontovány vzorky svařené metodou 111 a rozdílnými přídatnými materiály. Důvod k výběru právě těchto dvou vzorků byl ten, že tato metoda je nejvhodnější pro dříve navržený způsob renovace i pro opravy svarů bez navržené renovace.

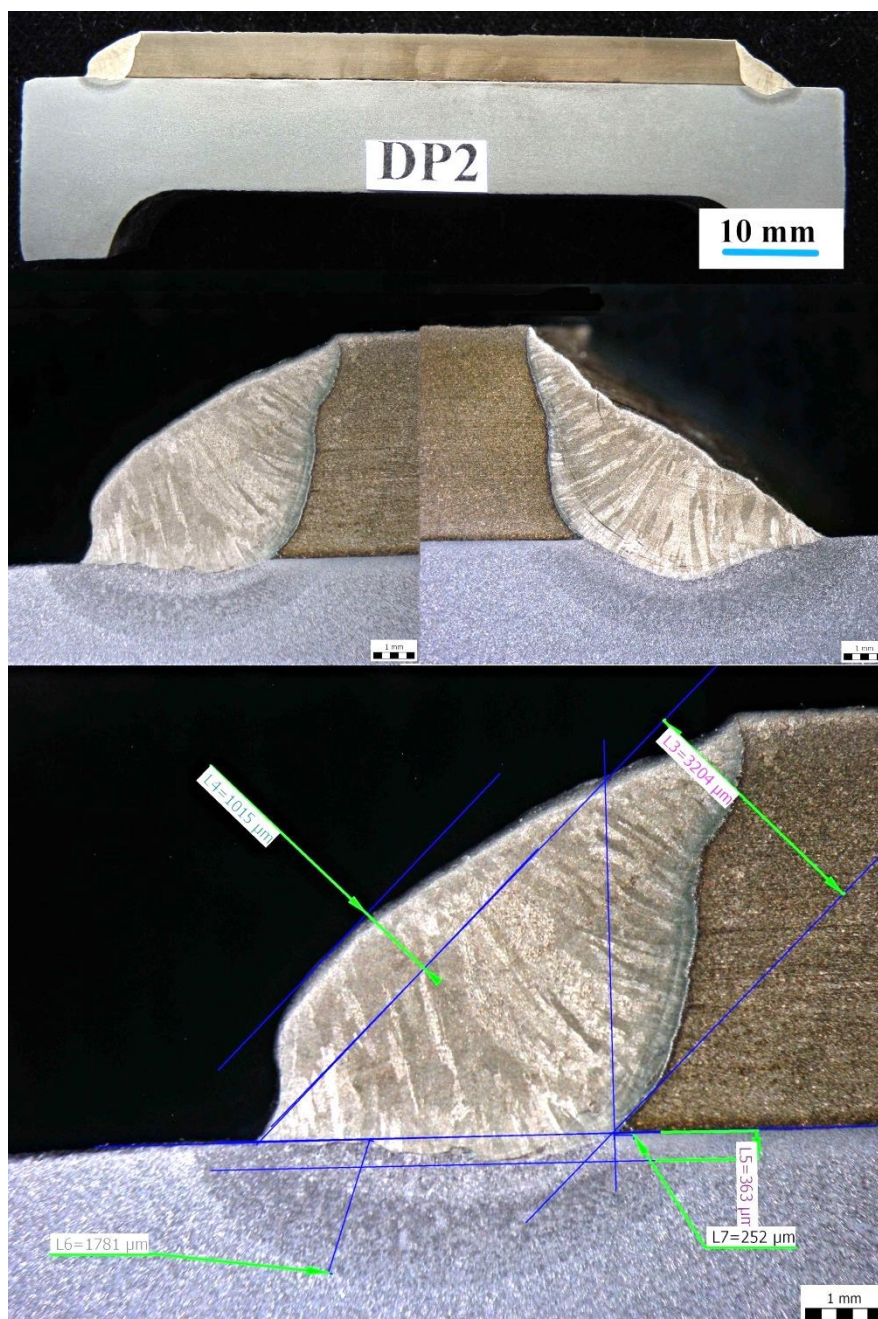


Obrázek 63 – Vybrané kluznice po defektoskopii a před demontáží

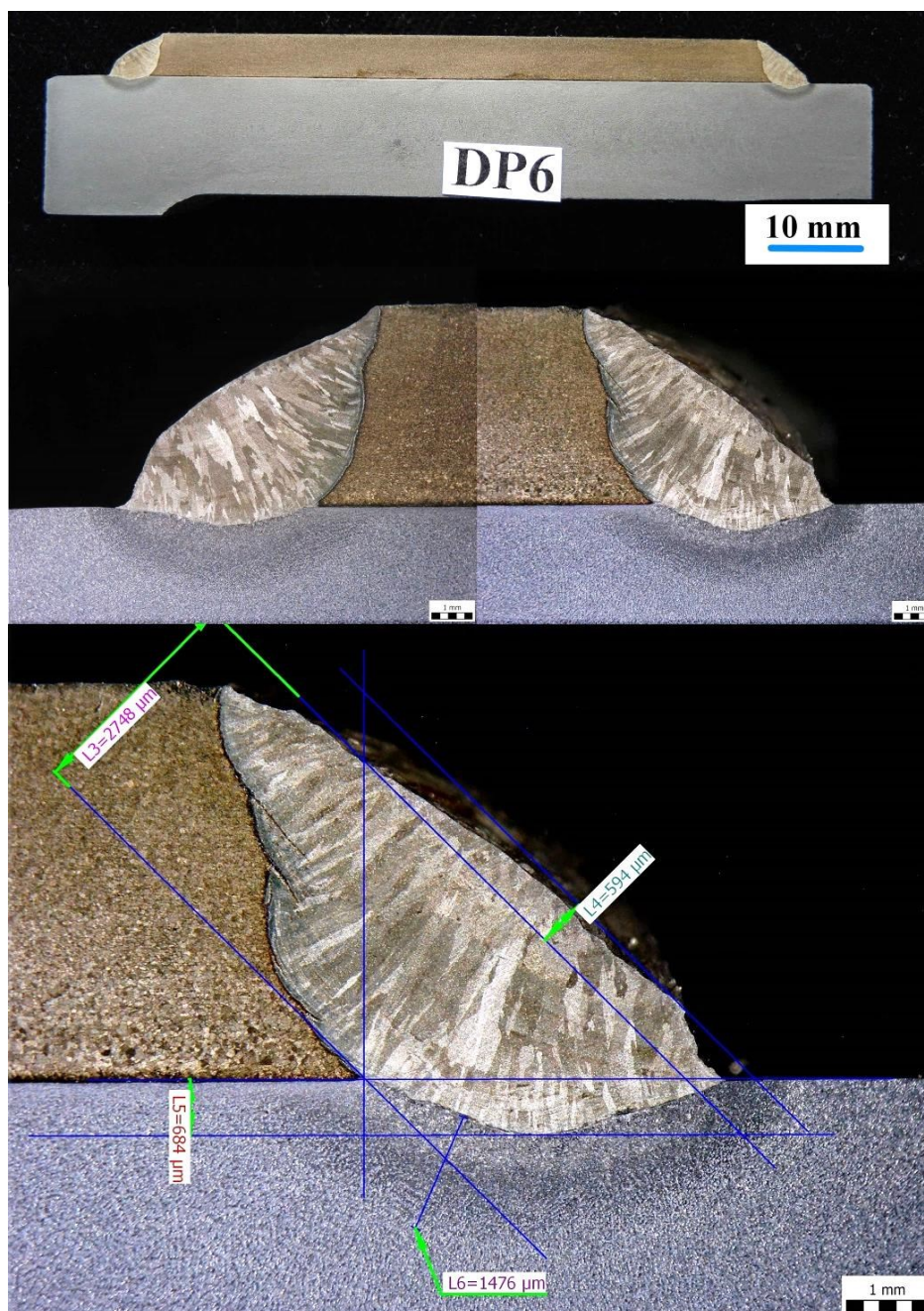


Oba zkoušené vzorky DP2 a DP6 vyhověly při vizuální zkoušce i při zkoušce penetrační, která byla na těchto vzorcích provedena dvakrát.

Makroskopická analýza (obr. 64 a 65) obou provozně zatížených vzorků neprokázala žádné odlišnosti od již dříve zkoušených vzorků svařených stejnými PM i metodami svařování.



Obrázek 64 - Makroskopická kontrola a měření vzorku DP2



Obrázek 65 - Makroskopická kontrola a měření vzorku DP6

V kořenové části byl i na těchto vzorcích zjištěn nedostatečný průvar. Obrázky 64 a 65 také dokumentují skutečný činný rozměr svaru



## 7. DISKUZE VÝSLEDKŮ

Tato diplomová práce navazovala na práci bakalářskou, kdy v jejím závěru byl navržen přídatný materiál odlišného složení a vlastností od stávajícího přídatného materiálu. Navíc byl v diplomové práci také odzkoušen postup opravy, který by mohl být vhodný pro renovace odpružených kluznic. Princip renovace je v odstranění původního svaru jeho obroušením a dále odfrézováním dosedací plochy kluznice do hloubky 2 mm pro odstranění hloubky závaru tohoto původního svaru. Při svařování zkušebních vzorků byly také mimo alternativní přídatné materiály vyzkoušeny různé metody svařování, jejichž technologie je na pracovišti k dispozici.

Parametry svařování u každého vzorku odpovídají požadavkům pro svařování obtížněji svařitelného základního materiálu, zde manganové oceli. Hlavní kritériem byla nízká hodnota vneseného tepla  $Q$ .

Při nedestruktivním zkoušení metodou vizuální a penetrační nebyly zjištěny, vyjma vzorků DP7 a DP8, žádné vady provedených svarů. Tyto vzorky nevyhověly při vizuální kontrole na podkročení velikosti koutového svaru. Avšak při vizuální a penetrační kontrole svarů lze odhalit pouze povrchové a na povrch pronikající vady. Vady jako neprůvar v kořeni koutového svaru nebo studený spoj v kořeni nelze těmito metodami odhalit vůbec.

Při destruktivním zkoušení, kdy byla provedena metalografická analýza vybraných vzorků, již byly odhaleny vady v kořeni. Tyto vady jsou neúplné provaření kořene a studený spoj. V jednom případě je dokonce v kořenové části patrný počátek trhliny. Při makroskopické kontrole byl také kontrolován hlavní parametr svaru a to jeho předepsaná velikost. U všech vzorků byl tento parametr podle normy ČSN EN ISO 5817 pro stupeň kvality B nevyhovující. Vady typu neprůvar snižovaly jmenovitý rozměr svaru  $a$ .

Kontrolou mikrostruktury svarového spoje všech zkoušených vzorků bylo zjištěno dobré promísení na hranici ztavení mezi manganovou příložkou a svarovým kovem i mezi základním materiálem kluznice a svarovým kovem. Na rozdíl od zkoušky makrostruktury kdy je TOO v manganové příložce nerozeznatelná se ukázalo, že při mikroskopické kontrole jsou TOO obou základních materiálů stejně široké. Při kontrole mikrostruktury byly dále zdokumentovány vady v kořeni. Tyto vady jsou studený spoj a trhlina. Tyto vady mohou být zárodkem pro vznik trhliny a následného porušení svarového spoje.

Důsledkem svařování těchto dvou heterogenních materiálů, kdy je u materiálu z manganové oceli upřednostněna její otěruvzdornost před možností provést kvalitní svar s uhlíkovou ocelí vzniká technologický neprůvar, který při správně zvolených parametrech svařování nemusí mít nežádoucí vliv na pevnost svarového spoje. Je-li nutno dodržet podmínky pro svařování Mn ocelí, musí se tomu přizpůsobit vlastnosti svarového kovu tak aby byl odolný proti praskání. Svarový kov s vhodnými vlastnostmi dává přídatný materiál o složení CrNiMn (18 % Cr, 8 % Ni a 5% Mn) a tento PM byl vyzkoušen při svařování vzorků DP1, 2, 3, 4, 7, 8 a DP9. Ačkoliv vzorky 3,4,7 a 8 byly svařeny metodami, které pro renovaci nenavrhují tak svarový kov měl stejné hodnoty tvrdosti jako vzorky svařené metodou 111.

Měření tvrdosti HV10 proběhlo v souladu s ČSN EN ISO 9015 a ČSN EN ISO 15614-1. Svařované materiály patří podle CEN ISO/TR 15608 – do skupiny materiálů 1.2 a 8.3. Pro tuto kombinaci bylo určeno kritérium tvrdosti v TOO 380 HV10. Tato hodnota tvrdosti nebyla překročena. Dále naměřené tvrdosti odpovídají tvrdostem deklarovaným v dokumentech o základním materiálu a přídatném materiálu. Tvrdosti svarových kovů alternativního PM dávají předpoklad vyšší odolnosti a tedy vhodnosti ke svařování těchto dvou ocelí.

## 8. ZÁVĚR

Diplomová práce je rozdělená do dvou částí. Úvod teoretické části se zabývá popisem odpružených kluznic a možností jejich renovace a dále pokračuje hodnocením svařitelnosti dvou heterogenních materiálů a návrhem přídatného materiálu pro tento typ svarového spoje. V další části diplomové práce je experimentálně ověřeno, zda navržené přídatné materiály, metody svařování a způsob renovace jsou vhodné a vyhoví požadavkům jak na nedestruktivní tak i destruktivní zkoušení svarových spojů. Bylo zjištěno že:

- při tomto typu svarového spoje vzniká technologický neprůvar, jeho příčinou je snaha omezení množství přivedeného tepla při svařování, toto omezení vyžaduje základní materiál z manganové oceli
- navržený způsob renovace je vhodný pro opravu utržených manganových příložek jak pro způsob jeho provedení renovace tak i vlastnosti svarového spoje, které se neliší od ostatních vzorků
- přídatný materiál o složení CrNiMn (18 % Cr, 8 % Ni a 5% Mn) je vhodnější pro tento heterogenní spoj a jeho mechanické vlastnosti mohou eliminovat účinky zbytkového napětí po svařování v kombinaci se zjištěnými vadami.

Na základě provedených svarových spojů a jejich zkoušení pro zhodnocení a optimalizaci svařování manganových příložek navrhuji zavedení dosažených výsledků do praxe.

## 9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1]. ŠIROKÝ, Jaromír, Jaroslav MÜLLER a Stanislav ZAPLETAL. *Stavba železničních kolejových vozidel* [online]. 2013. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava; [cit. 2017-01-29].  
Dostupné z: [https://issuu.com/michdor/docs/m10\\_text](https://issuu.com/michdor/docs/m10_text)
- [2]. GIGER, Markus. Y25-Drehgestell JMR Aug 2009.jpg. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-01-30]. Dostupné z: [\[\[File:Y25-Drehgestell JMR Aug 2009.jpg|thumb|Y25-Drehgestell JMR Aug 2009\]\]](#)
- [3]. EVANS, J.R. a P.J. ROGERS. VALIDATION OF DYNAMIC SIMULATIONS OF RAIL VEHICLES WITH FRICTION DAMPED Y25 BOGIES. *Vehicle System Dynamics* [online]. 1998, **29**(sup1), 219-233 [cit. 2017-01-30]. DOI: 10.1080/00423119808969561. ISSN 0042-3114. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00423119808969561>
- [4]. Frézy válcové čelní. In: [Http://www.zps-fn.cz](http://www.zps-fn.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/produkty/detail/frezy-valcove-celni-kratke,-polohrubozube,-typ-n>
- [5]. *Welding handbook ; materials and applications, part 1. 9th ed. Miami, FL: American Welding Society, 2011. ISBN 978-087-1717-597.*
- [6]. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996. ISBN 80-858-6795-8.
- [7]. HRIVŇÁK, Ivan. *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*. Bratislava: Veda, 1989. ISBN 80-224-0016-5.
- [8]. ČSN 42 2643: *Ocel na odlitky 42 2643 uhlíková*. 3. Praha: Český normalizační institut, 1977.

- [9]. KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [10]. JENNEY, Cynthia L. a Annette. O'BRIEN. *Welding handbook*. 9th ed. Miami, FL: American Welding Society, 2011. ISBN 08-717-1657-7.
- [11]. *Technische Lieferbedingungen für Bleche für Führungsplatten oder Führungsplatten aus Manganstahl: Übersetzung = Spécification technique pour la fourniture des tôles pour plaques d'usure ou des plaques d'usure en acier au manganèse = Technical specification for sheets for wearing plates or wearing plates in manganese steel*. 2. Ausg., Juni 2004. Paris: UIC, 2004. ISBN 27-461-0632-9.
- [12]. *Www.esab.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/cz/cz/products/index.cfm?fuseaction=home.productsbycategory&catId=136>

## 10. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Různé typy používaných Mn příložek

Obrázek 2 - Podvozek typ Y25 kde jsou použity zmiňované kluznice[2]

Obrázek 3 - Pohled na kluznici v podvozku a v zatíženém stavu.

Obrázek 4 - Prasklý svar Mn příložky na ložiskové komoře.

Obrázek 5 - Poškození Mn příložek, utržená příložka a prasklina ve svaru.

Obrázek 6 - Svary příložek po opravě, jsou patrný původní svary.

Obrázek 7 - Obrázek ilustruje nedolehnutí příložky a prasklinu ve svaru.

Obrázek 8 - Kluznice po provedené úpravě frézováním.

Obrázek 9 - Stávající způsob s příložkou tloušťky 5 mm.

Obrázek 10 - Navrhovaný způsob renovace s příložkou tloušťky 7 mm.

Obrázek 11 - Poškození horních svarů.

Obrázek 12 - Fréza pro úpravu kluznice [4]

Obrázek 13 - Kluznice po frézování.

Obrázek 14 - Mikrostruktury materiálů a svarového kovů.

Obrázek 15 - Hranice ztavení mezi SK a oběma ZM

Obrázek 16 - Mikrostruktury svarových kovů, licí struktura tvořená austenitem a delta feritem, licí struktura, složení a množství delta feritu se liší podle chemického složení použitého přídavného materiálu, zvětšeno 200X

Obrázek 17 - Porovnání množství vneseného tepla Q do svaru

Obrázek 18 - Makroskopická kontrola vzorku DP1 s měřením parametrů svaru pro porovnání s vizuální kontrolou svaru

Obrázek 19 - Mikrostruktura svarového kovu je licí tvořena austenitem a delta feritem, zvětšeno 200X

Obrázek 20 - Hranice ztavení mezi SK a ZM příložky z manganové oceli, zvětšeno 200X

Obrázek 21 - Hranice ztavení mezi ZM kluznice a SK, v ZM kluznice bainitická struktura, zvětšeno 200X

Obrázek 22 - Detail oblasti kořene, nedostatečný průvar, zvětšeno 200X

Obrázek 23 - Mikrostruktura základního materiálu příložek, austenitická struktura manganové oceli, zvětšeno 200X

Obrázek 24 - Feriticko-perlitická mikrostruktura základního materiálu kluznice, lamelární perlit, zvětšeno 200X

Obrázek 25 - Průběh tvrdosti vzorkem DP1

Obrázek 26 - Makroskopická kontrola vzorku DP4 s měřením parametrů svaru

Obrázek 27 - Mikrostruktura svarového kovu, tvořená austenitem a delta feritem,  
zvětšeno 200X

Obrázek 28 - Hranice ztavení mezi SK a ZM příločky z manganové oceli, zvětšeno 200X

Obrázek 29 - Hranice ztavení mezi ZM kluznice a SK, v ZM kluznice bainitická struktura,  
zvětšeno 200X

Obrázek 30 - Detail oblasti kořene, nedostatečný průvar, zvětšeno 200X

Obrázek 31 - Průběh tvrdosti vzorkem DP4

Obrázek 32 - Makroskopická kontrola vzorku DP8 s měřením parametrů svaru

Obrázek 33 - Mikrostruktura svarového kovu, tvořená austenitem a delta feritem,  
zvětšeno 200X

Obrázek 34 - Hranice ztavení mezi SK a ZM příločky z manganové oceli, zvětšeno 200X

Obrázek 35 - Hranice ztavení mezi svarem, v materiálu kluznice struktura tvořena směsí  
základních struktur, zvětšení 200X

Obrázek 36 - Detail oblasti kořene, nedostatečný průvar, zvětšeno 200X

Obrázek 37 - Průběh tvrdosti vzorkem DP8

Obrázek 38 - Makroskopická kontrola vzorku DP9 s měřením parametrů svaru

Obrázek 39 - Mikrostruktura svarového kovu je licí s austenitem a delta feritem,  
zvětšeno 200X

Obrázek 40 - Hranice ztavení mezi SK a ZM příločky z manganové oceli, zvětšeno 200X

Obrázek 41 - Hranice ztavení mezi ZM kluznice a SK, v ZM je struktura tvořena bainitem a  
feritem vytvářející náznaky nesouvislého síťoví, zvětšeno 200X

Obrázek 42 - Detail oblasti kořene, nedostatečný průvar, zvětšeno 200X

Obrázek 43 – Průběh tvrdosti vzorkem DP9

Obrázek 44 - Makroskopická kontrola vzorku DP10 s měřením parametrů svaru.

Obrázek 45 - Mikrostruktura svarového kovu je licí, tvořena austenitem a delta feritem,  
zvětšeno 200X

Obrázek 46 - Hranice ztavení mezi svarovým kovem a příložkou, zvětšeno 200X

Obrázek 47 - Hranice ztavení mezi ZM kluznice a SK, v ZM je struktura tvořena bainitem a  
feritem vytvářející nesouvislé síťoví, zvětšeno 200X

Obrázek 48 - Detail oblasti kořene, nedostatečný průvar, a defekt v kořeni, zvětšeno 200X

Obrázek 49 - Průběh tvrdosti vzorkem DP10

Obrázek 50 - Makroskopická kontrola a měření vzorku DP11



Obrázek 51- Mikrostruktura svarového kovu tvořená austenitem a delta feritem,  
zvětšeno 200X

Obrázek 52 – Hranice ztavení mezi svarovým kovem a základním materiálem z manganové  
oceli, jsou vidět natavené hranice austenitických zrn Mn oceli vyplněné  
svarovým kovem zvětšeno 200X

Obrázek 53 - Hranice ztavení mezi SK a základním materiálem kluznice, zvětšeno 200X

Obrázek 54- Detail kořenové části, neprůvar kořene zvětšeno 200X

Obrázek 55- Průběh tvrdosti vzorkem DP11

Obrázek 56 - Makroskopická kontrola a měření vzorku DP12

Obrázek 57- Licí mikrostruktura svarového kovu, austenit a delta ferit, zvětšeno 200X

Obrázek 58 - Hranice ztavení mezi svarovým kovem a příložkou, zvětšeno 200X

Obrázek 59 - Hranice ztavení mezi SK a základním materiálem kluznice, zvětšeno 200X

Obrázek 60- Detail oblasti kořene a zárodek trhliny v kořeni, zvětšeno 200X

Obrázek 61 - Průběh tvrdosti vzorkem DP12

Obrázek 62- Šířka TOO

Obrázek 63- Vybrané kluznice po defektoskopii a před demontáží

Obrázek 64 - Makroskopická kontrola a měření vzorku DP2

Obrázek 65 - Makroskopická kontrola a měření vzorku DP6

## 11. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Časy operací při renovaci.

Tabulka 2 - Chemické složení a mechanické vlastnosti spojovaných materiálů a přídavných materiálů. (\*doporučení podle UIC) [11,12]

Tabulka 3 - Přehled parametrů svaru a poloh svařování

Tabulka 4 - Přehled jednotlivých vzorků

Tabulka 5 - Parametry svařování

Tabulka 6 - Jednotlivé hodnoty tvrdosti HV10

Tabulka 7 - Parametry svařování vzorku DP4

Tabulka 8 - Jednotlivé hodnoty tvrdosti HV10

Tabulka 9 - Parametry svařování vzorku DP8

Tabulka 10 - Jednotlivé hodnoty tvrdosti HV10

Tabulka 11 - Parametry svařování vzorku DP9

Tabulka 12 - Jednotlivé hodnoty tvrdosti HV10

Tabulka 13 - Parametry svařování vzorku DP10

Tabulka 14 - Jednotlivé hodnoty tvrdosti HV10

Tabulka 15 - Parametry svařování vzorku DP11

Tabulka 16 - Jednotlivé hodnoty tvrdosti HV10

Tabulka 17 - Parametry svařování vzorku

Tabulka 18 - Jednotlivé hodnoty tvrdosti HV10

## **12. PŘÍLOHY**

## Seznam příloh

Příloha A.	dokument kontroly 3.1 spodního tělesa kluznice
Příloha B.	dokument kontroly 3.1 manganové příložky
Příloha C.	specifikace postupu svařování pWPS 001
Příloha D.	specifikace postupu svařování pWPS 002
Příloha E.	specifikace postupu svařování pWPS 003
Příloha F.	specifikace postupu svařování pWPS 004
Příloha G.	specifikace postupu svařování pWPS 005
Příloha H.	protokol VT pro vzorek DP1
Příloha I.	protokol VT pro vzorek DP4
Příloha J.	protokol VT pro vzorek DP8
Příloha K.	protokol VT pro vzorek DP9
Příloha L.	protokol VT pro vzorek DP10
Příloha M.	protokol VT pro vzorek DP2
Příloha N.	protokol VT pro vzorek DP3
Příloha O.	protokol VT pro vzorek DP6
Příloha P.	protokol VT pro vzorek DP7
Příloha Q.	protokol VT pro vzorek DP11
Příloha R.	protokol VT pro vzorek DP12
Příloha S.	protokol o provedení defektoskopické zkoušky PT
Příloha T.	protokol o provedení defektoskopické zkoušky PT